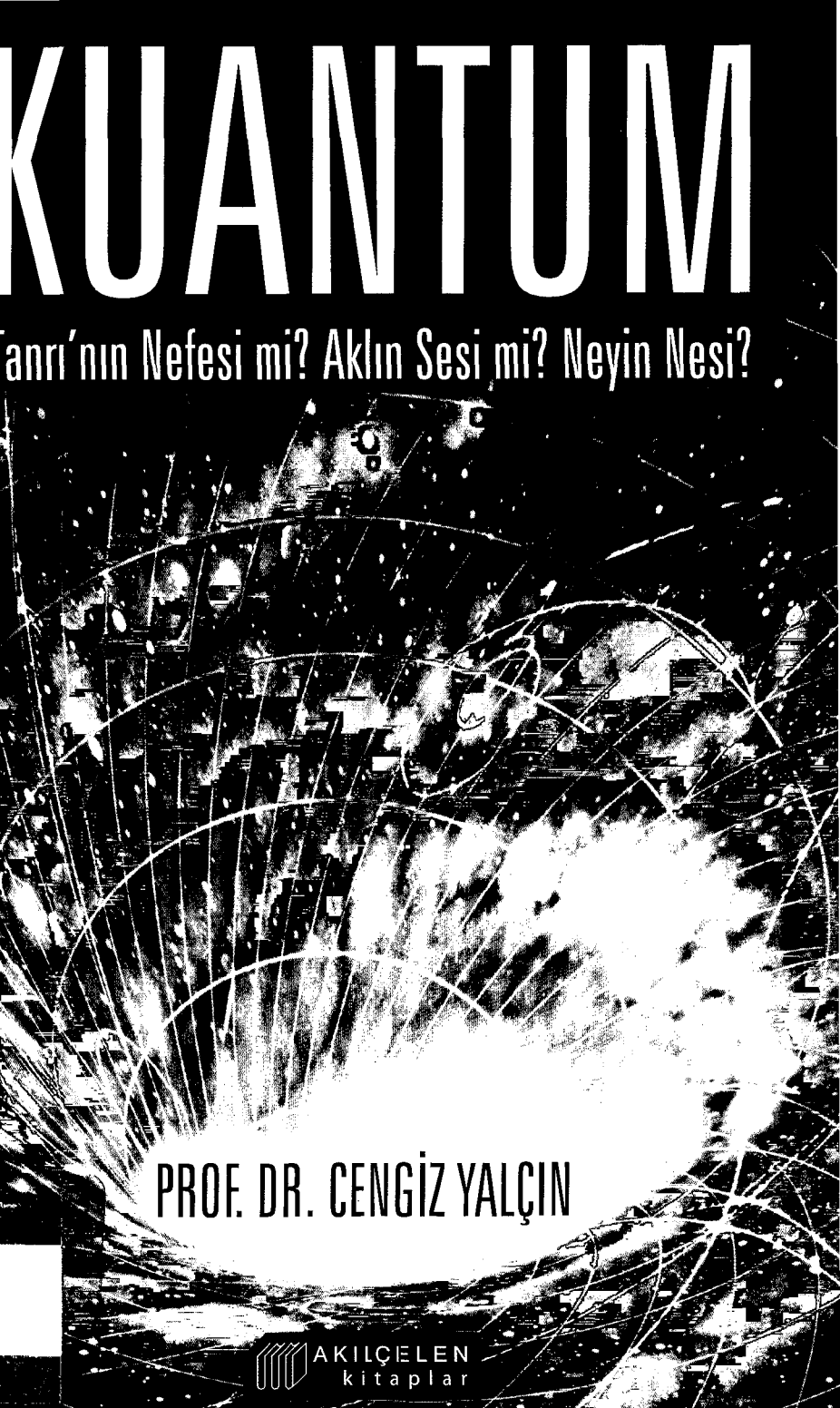
KUANTUM

Tanrı'nın Nefesi mi? Aklın Sesi mi? Neyin Nesi?



PROF. DR. CENGİZ YALÇIN

AKILÇELEN kitaplar

Kuantum

Tanrı'nın Nefesi mi? Aklın Sesi mi?
Neyin Nesi?

AKILÇELEN KİTAPLAR
Yuva Mahallesi 3702. Sokak No: 4 Yenimahalle / Ankara
Tel:+90-312 396 01 11 (pbx) Faks: +90-312 396 01 41
www.akilcelenkitaplar.com
bilgi@akilcelenkitaplar.com
Yayıncı Sertifika No: 12382
Matbaa Sertifika No: 13987

© Türkçe yayım hakları Akılçelen Kitaplar'ındır. Yayıncının yazılı izni olmadan hiçbir biçimde ve hiçbir yolla, bu kitabın içeriğinin bir kısmı ya da tümü yeniden üretilemez, çoğaltılamaz ya da dağıtılamaz.

ISBN: 978-605-5069-66-7

ANKARA, 2015

Yayına Hazırlık : A. Gazi Vural
Sayfa Düzeni : Bahar Mete
Kapak tasarımı : Lodos Grup
Baskı : Ayrıntı Basım Yayım ve Matbaacılık Ltd. Şti
28. Cadde, 770. Sokak No: 105/A
İvedik Organize Sanayi
Yenimahalle – Ankara

Kuantum

Tanrı'nın Nefesi mi? Aklın Sesi mi?
Neyin Nesi?

Prof. Dr. Cengiz Yalçın

AKILÇELEN
kitaplar

Sevgili eşim Semin Yalçın'a.

Elli seneyi aşkın bir süredir aynı çatı altında yaptığım çalışmalara gösterdiği anlayışa, verdiği desteğe teşekkürler eder; tükenmeyecek sevgimi, saygımı ve şükranlarımı sunarım.

Yazar Hakında

Prof. Dr. Cengiz Yalçın, ODTÜ Fizik bölümü başkanlığı, TÜBİTAK bilim kurulu üyeliği, Türkiye Atom Enerji Kurulu Başkanlığı, European Science Foundation icra kurulu üyeliği, İsveç Kraliyet Akademisi Nobel Komitesi röportörlüğü, *Turkish Journal Of Physics* editörlüğü, gibi görevlerde bulunmuştur. Arkadaş Yayınları'ndan çıkan *TEMEL FİZİK* kitabı üniversitelerimizin fen ve mühendislik fakültelerinde uzun zamandan beri ders kitabı olarak kullanılmaktadır. Yazar ayrıca dünyaca ünlü pek çok eseri Türkçeleştirmiştir. *Evren ve Yaratılış, Aklını Kaçıran Dünya, Dinsel Paradigma ve Evrensel Gerçek, Zaman Makineleri, Einstein Evreninde Zaman Yolculuğu, Evrenin Karanlık Yüzü,* gibi popüler bilim kitapların çevirmenliğini, editörlüğünü veya yazarlığını yapmıştır.

Yazar okuyucularını şaşırtarak 2012 yılında 68 öğrenci hareketlerinin 50 sene sonraki resmini çizen *Başkaldıran Gençlik-2018* isimli bir roman yazmış ve büyük ilgi görmüştür. Gençliğin dünyada hüküm süren haksızlıklara karşı küresel isyanını kişisel öykülere yansıtan roman bir fütürizm örneğidir. Roman, Wall Street işgali veya Gezi Parkı gibi haksızlıkları protesto eden toplumsal olayları yaşanmadan önce tahmin eden bir eser olarak dikkat çekicidir.

İçindekiler

Quanta? 9

Quid est varitas? 16

Hangi modeller inandırıcıdır? Neden model yaparız? 31

Neden doğa gizemlerini matematiksel bir dil ile anlatmaktadır? 32

Dalgalar 53

Dalga genliği 55

Dalga boyu 56

Frekans 57

Girişim 57

Güçlendirici girişim 57

Yok edici girişim 58

Polarizasyon 60

Elektromanyetik dalgalar 61

Spin veya dönme 63

Doğanın İnsanı Şok Eden Gizemleri 66

Kuantum fiziği doğa gerçeklerini nasıl bir matematik ile ifade eder? 67

Young çift yarık deneyi 68

Fotona gideceği yeri kim söylemektedir? 71

Elektromanyetik ışımaların ikili karakteri 72

Louis De Broglie 74

Dalga boyu = Planck sabiti/ kütle x hız

$\lambda = h/m.v$ 76

Schrödinger ve Olasılık 85
Nedir bu olasılık dalgası? *91*
Schrödinger ve Kedi Paradoksu *99*
Heisenberg belirsizlik ilkesi *103*
Kuantum Fiziği: Hayal mi Gerçek mi? Bilim Tarihinin En Uzun Süren Tartışması 110
Kuantum fiziğinin "Kopenhag Yorumu" *116*
EPR deneyi *126*
Kuantum gerçeği ve ölçüm problemi *135*
Uyum bozan dalgalar *139*
Bell teoremi *144*
Neden işler kuantum fiziğinde böylesine karmaşık görünür? *156*
Yerel Olmayan Kuantal İletişim, Kuantum Dolanık Sistemler (Quantum Entanglement) 163
Kuantum Teleportation *174*
Kuantum bilgisayarlar, kuantum hesaplama *181*
Kuantum Kriptoloji *195*
Kuantum Fiziği, İnanç ve Felsefe 198
Dizin 201

1
Quanta?

İnsan aklının, el hünerinin yarattığı güzellikler diyarıdır İtalya. Her köşe başı başka bir anlam başka bir güzellik taşır; ünlü Aşk Çeşmesi "Fontana Del Trevi" bu estetik değerlerden sadece biridir. İçindeki her metal para bir ayrılığı, bir aşkı, bir hasreti, bir tutkuyu, sevgi dolu bir kalbi simgeler. Ortaçağ şehir devletlerinin müzelerini süsleyen Raphael, Leonardo da Vinci, Carpaccio gibi ünlü veya onlar kadar ünlü olmayan sayısız sanatçının tabloları sanki bizler ölmedik, bizler buradayız, bizler İtalya'yız der gibi bakarlar insana; tabii insan olana... Bergello Müzesini süsleyen Donatella'nın *Davud*'u, Michelangelo'nun *Musa*'sı, Botticelli'nin *Venüs*'ü, Rönesans kültürünün boy attığı Floransa müzelerindeki insanı hayran bırakan muhteşem Romalı heykelleri, kanalları Tiffany mücevherleri kadar güzel Venedik ve bu ünlü şehrin ünlü ressamı Gentile Bellini, şehir devletlerinin himayesinde sanatlarını sergileyen yontucular, ressamlar, mimarlar, şairler, yazarlar, düşünürler. Görkemli La Scala Opera Binasının yakınındaki kafede kapuçini yudumlarken sanki Verdi'nin *Aida*'sını veya Puccini'nin *Le Boheme*'ini Maria Callas veya Leyla Gencer ya da Pavarotti seslendiriyormuş gibi gelir. Pisa Kulesi'ne bakarken Galileo Galilei'nin ünlü "*Epur se muove*"[1] cümlesini duyarsınız. Copernicus da derinden sessizce haykırır: "Evrenin merkezi dünya değil güneştir." Giordano Bruno, "Beni yaksanız da gerçek değişmeyecek, Papa yalan söylüyor." diye acılar içinde bağırır. İşte İtalya denince insanın aklına bunlar gelir.

Her yolun Roma'ya çıktığı, Papa'nın her şeye hâkim olduğu Avrupa'da, düzene itiraz olarak ortaya çıkan Rönesans'ı İtalya'daki bu dâhi ustaların başlatması bir tesadüf değildir. Onlar, insana verilmiş olan estetik ve kültürel değer yaratma gücünün temsilcileridir. Baskıcı Katolik Kilisesi'ne karşı talepleri, sanatta, düşüncede, bi-

[1] *Yine de Dünya dönüyor.*

limde, inançta özgürlüktür. Sosyal spektrumun her frekansında titreşen entelektüel oluşumların kurguladığı bu özgürlük koalisyonu, bir burjuva devrimi olan Rönesans'ın İtalya'da başlamasının başlıca nedenidir. Aynı sosyal gen, insanlık tarihine daha sonraları Fellinileri, Sicaları, Pirendelloları, Ecoları, Voltaları, Fermileri kazandırmıştır. Tarihin en zalim insanları olarak bilinen şehir devletlerinin tiranları bile Leonardo da Vinci, Rafael gibi ustaları himayelerine alırken aynı dönemde, belki tiranlar kadar güçlü olmasalar bile, belli bir gücü elinde tutan Anadolu'daki toprak ağaları, pehlivanları himaye etmeyi tercih etmişlerdir. Bu örnek, içinde yaşadığımız toplumun sosyal genetiğinde yaratıcılığın sınırlarını çizer. Zamanların eskitemediği birer değer olan Farabilere, İbn-i Sinalara, Mevlanalara, Yunus Emrelere, Nâzım Hikmetlere yaraşır kuşakları ne yazık ki yetiştiremedik. Kültürel yozlaşma, yenilikleri takip edememe ve eğitim sistemindeki tutucu birikim buna engel oldu. Yaratıcılık genlerimiz, karşı devrimler ve gelenekçi muhafazakâr politikalar ile tahrip edildi. İlericiliğin koşulduğu akıl yarışlarında değil, tutuculuğun koşulduğu yarışlarda birincilikler elde ettik. Koskoca bir cihan imparatorluğu elimizden kayıp gitti, aklımız hâlâ başımıza gelmedi. Umarım Ön Asya'yı da kaybetmeyiz. Yazılı kültürün ilk örneklerini oluşturan *Orhun Kitabeleri*'ni taşlara kazıyıp Orta Asya steplerine diken insanlığın soylu kavmi biz Türklere ne kadar yazık oldu. Daha da kötüsü, insanların kendilerine ne kadar yazık edildiğinin farkına varamamalarıdır. Yazarken, düşünürken bu burukluğu hissetmemek mümkün değil.

Aradan dört yüz yıl geçmiş, Rönesans kültürü dünyanın siyasi ve kültürel haritasını allak bullak etmiş, milletler kendilerini yeni sınırlar içinde tanımlamış, bilimsel ve endüstriyel devrim yaşanmış, karanlık orta çağ sona ermiş, inanç yılları yerini akıl yıllarına bırakmış, yepyeni aydınlık bir çağ başlamış. Bu değişimi fark edip ve ayak uyduran uluslar zenginleştikçe zenginleşmiş, fark edemeyenler ise yoksullaştıkça yoksullaşmış. Bu baş döndürücü gelişmeye katılmayı beceremeyip sadece seyreden Osmanlı İmparatorluğu parçalana bölüne

Anadolu topraklarına sıkıştırılmış, hatta Anadolu toprakları bile ona çok görülmüş. Bugünkü durumumuz bu ve hâlâ yeni bölünmelerin sınırındayız ve ona seyirci kalmaktayız. Ne kadar yazık oluyor bize.

Ülkemizde, bayram tatilleri, değişen toplumsal anlayış sonucu uzunca bir süredir seyahat nedeni olarak değerlendirilmektedir. Bu tatillerden birkaçında, meslek yaşantımın belli bir süresini geçirdiğim İtalya'ya gitmişimdir. Bir keresinde, dönüşte, otelden hava alanına tura katılanların bavullarını taşımak için özel bir araç kiralandığına şahit oldum. Aralarında çok sevdiğim dostlarımın da bulunduğu bu gezilerde ilgimi çeken bir cümleyi paylaşmak isterim:

"**QUANTA**?" Yani "**FİYATI** ne kadar?"

Gucci marka çantanın veya ayakkabının fiyatını öğrenen hanımefendi, bildiği ikinci İtalyanca cümleyi suratından eksik etmediği bilgiç tebessümü ile profesyonel satıcıya dönerek sorar:

"**SCONTA?**" Yani "**UCUZA** olmaz mı?"

Bavulların boşuna dolmadığını bu basit cümleler ifade eder. Tüm gezilerde alış veriş yapmak elbette bir keyiftir. Ancak uçakların bile taşıyamayacağı miktarda alış veriş yapmak ne anlama gelir? Benzer durumlarla Londra, Paris ve Zürich'te de karşılaşmışımdır. Bu da bizlerin dört yüz yıl sonraki yaratıcılığımızdır.

Ülkemize gelen turistlerin belli bir bölümü bu topraklarda Anadolu kültürünün yaratığı Bergama, Side, Kapadokya, güzelim Süleymaniye, Sultan Ahmet ve diğer ören yerlerini gezerken Türklerin çok büyük bir kısmı, ne Hazreti Musa'nın heykeline ve Rafael tablolarına ne de Louvre Müzesine ilgi gösterdiğine şahit oldum.

İlgi: "**QUANTA?**"

Fiyatın ne anlama geldiği belli de, nedir bu "*QUANTA*" veya Türkçesi "*KUANTUM*". Son dönemlerde çok sayıda kişinin dilinden düşmeyen bu sihirli sözcük "*QUANTA*", Latince "MİKTAR"

anlamına gelir. Ancak sözcüğün anlam kapsamı öylesine genişledi ki, bu masum sözcük bir gizem yumağına dönüşüverdi. Saat markası *QUANTA*, şirket isimleri *QUANTA*, daha da ilerisi deterjanlar *QUANTA*.

Ünlü yönetmen Marc Forster, *Quantum of Solace* filmi ile süper ajan James Bond'u yeniden gündeme taşıdı. 007'lerin en yenisi Daniel Craig filmde kumar oynadı, sevişti, tehlikeler atlattı ancak bunun kuantum fiziği ile ilgisini kimse anlayamadı. Belki de güzeller güzeli Olga Kurylenko ile "*QUANTAL*" seks yaptı. Fakat kimse farkına varamadı. Medyumlar, falcılar, düşünürler, yazarlar, ruhbilimciler, sosyologlar, aktivistler ve her olayda bir komplo arayan düşünce tasarımcıları veya daha da ilerisi paranoyaklar, "*QUANTA*" sözcüğünün, daha özel anlamda "*KUANTUM FİZİĞİ*"*nin* orasını burasını çekerek, kendi amaçları doğrultusunda, her derde deva bir mucize ilaç gibi sunuyorlar. Amerikalı banker Jim Rogers, *KUANTUM* adlı bir fon kurup finans köpüğünü şişirenler arasında yer aldı ve önüne gelen saf Amerikalıları dolandırdı. Bir başkası çıkıp TV ekranlarında kuantum dokunuşu yaparak hastalıkları tedavi ettiğini iddia etti ve buna çok sayıda insan inandı. Kuantum fiziğini Ergenekon şahidi dahi yaptılar. Sahte bir belgenin sahte olmama olasılığını hesap ettiler. Ömründe en basit geometrik bir potansiyel ile dahi *Schrödinger Denklemi*ni çözemeyenler, *kedi paradoksunu* kendilerine göre yorumladılar. Yirminci yüzyılın bu en büyük entelektüel başarısının, bir soygun düzeni olan küreselleşmenin entelektüel alt yapısını oluşturduğunu iddia eden ekonomistler çıktı. İnsanlığın kaçınılmaz kaderini, her dönem toplumsal bunalımlar yaratan serbest piyasa ekonomisine bağladılar, başka bir seçenek yok dediler. Bu saçmalığa kuantum fiziğini tanık yaptılar. Bilim felsefesi ve mantıktan habersiz bir sürü imaj meraklısı, kuantum fiziğinin hangi olaylar ve deneyler üzerine kurgulandığını bilmeden ve de anlamadan -bana göre zaten hiç anlama şansları yok- TV ekranlarında

görmeye alışık olduğumuz her şeyi bilen âlim pozlarında, insan aklına durgunluk verecek yorumlar yaptılar. Gazete köşelerinde veya kitaplarında kuantum düşünce tekniği diye ne olduğu bilinmeyen bir masal oluşturma gayreti içine girdiler. Manevi duyarlılığı yüksek toplumlara kuantum fiziğini, sanki tanrı kelamı imiş gibi açıklamaya çalıştılar. İçlerinden bazıları Heisenberg'in ünlü *Belirsizlik İlkesi*ni kutsala endeksledi. Anlayamadıkları her olayı *Neden-Sonuç İlişkisi*ni göz ardı ederek, kuantum fiziğine fatura ettiler. Kolay yoldan işin içinden çıkmayı denediler. Kutsal kitapları da bu pazara dâhil ettiler. Yakında, İsa'nın ya da Musa'nın ya da Muhammed'in kuantum fiziğini buyurduğunu ileri sürenlerle karşılaşırsanız hiç şaşırmayınız.

Uygarlık tarihinin en önemli entelektüel başarısı olarak kabul edilen kuantum fiziği -bundan böyle kuantum olarak yazacağım- ne anlama gelir. Bir evren resmi çizen bu kuram sizin kültürel yaşantınızı nasıl etkiler? Doğanın gizemlerine açıklık getirebilir mi? Gizemlerin elçisi midir? Gerçek nedir sorusuna yanıt verebilir mi? Ne demek ister? Günlük yaşantınızda ne gibi problemlerinizi çözer? Gelecekte ne gibi problemlerinizi çözebilir? Bu kitapta bunlara yanıt vermeye çalışacağım.

Katarak ameliyatı olurken veya göz kusurlarınızı düzeltirken hekimin kullandığı lazer ışını veya yeşil ışık (green light) ve benzeri uygulamaların, kuantum fiziğinin yaşantınıza getirdiği kolaylıklar olduğunun farkında mısınız? Hücre cerrahisinin veya kök hücre tedavilerinin hangi sınırlara dayandığı hakkında bir fikriniz var mı? Bilgisayarlı kesityazar veya *MRI* görüntüleme sistemleri veya en hassas beyin akımlarını ölçen SQUID'in (Superconducting Quantum Interference Device),[2] kuantum fiziğine dayanılarak üretildiğini biliyor musunuz? İnternet erişimini sağlayan donanımlar, transistorlar, mikro işlemcileri oluşturan tümleşik devreler ve yongalar, mobil tek-

[2] Beyinin işleyişini doktora aktaran cihaz.

nolojideki gelişmeler, özellikle 3G erişiminden sonrakiler sizi hayretler içinde bırakacaktır. İletişimin sosyolojik gücünü *Gezi Parkı* olaylarını yaşayarak öğrendik. İnsanları şoke eden Iphone gibi akıllı telefonlar ve benzeri mobil cihazlar kuantum fiziğinin teknolojik uygulamalarıdır. Işın tedavisinde kullanılan yüksek frekanslı gama ışınımları veya bilgisayarınızın ve TV'nizin LCD veya plazma ekranları günlük yaşantımızın vazgeçilmezleri arasına katılmışlardır. Yazılı kültürü dijital kültüre dönüştüren teknolojinin alt yapısının kuantum fiziği olması sizi şaşırtmasın. Gelecek beş yıl içinde romanları, kitapları, gazeteleri, dergileri tablet ekranlarından okuyacaksınız; bu gün okumaya başladınız bile. Beş ya da on yıl içinde kuantum bilgisayarlar günlük yaşantınıza girmiş olacağını tahmin ediyorum. Nano-tıp, nano-farmakoloji, nano-teknoloji ve saymakla bitiremediğim benzerlerinin tümü kuantum fiziğinin bazıları buruk bazıları da keyifli öyküleridir. *Nano*, bir büyüklüğün milyarda biri anlamına gelir; örneğin nanometre bir metrenin milyarda biri, nano-saniye bir saniyenin milyarda biri anlamına gelir. İçinde yaşadığımız yüzyılda ülkelerin siyasi etkinlikleri ve bağımsızlıkları ne kadar bilgi üretip bu bilgilerin ne kadarını teknolojiye dönüştürebilmeleri ile orantılı olacaktır. Dünyaya, önümüzdeki yirmi sene içinde, nano-teknoloji veya bilgi teknolojileri çağını özümsemiş uluslar egemen olacaktır. Toplum üzerinde bu denli derin etkiler bırakan kuantum kavramına yabancı kalmanızı içinize sindiriyorsanız, gelecek size bir anlam ifade etmiyor demektir.

Kuantum, yukarıda aktarıldığı gibi, siz farkında olun ya da olmayın, yaşantınızda önemli bir yer edinmiştir ve etki alanını inanılmaz bir hızda genişletmektedir. Lisede fizik dersinden korkanlar sakın kuantumdan korkmayın; anlamakta zorluk çektiğiniz antik metinlerden daha anlamlı gelecektir. Belki de tanrının nefesini burada hissedeceksiniz. Ben, her insanın akıl gözünün kuantumun en azından bir kısmını görmek için yeterli olduğuna içtenlikle inanıyorum.

Anlayabildiğiniz kadarı bile düşüncelerinize yeni renkler katacaktır; bu kitabı isteyerek ve düşünerek okuduğunuzda olayları değerlendirmede farklı bir mantık kazanacaksınız, bir kuantum baharı yaşayacaksınız. Arap baharı gibi bağıran çağıranların, birbirlerini öldürenlerin değil, düşünenlerin baharını yaşayacaksınız. Düşüncelerinizin oluşturduğu varlık alanı içinde şimdiye kadar görmediğiniz çiçekler açacak. Hayret edeceksiniz. Bu ilginç kuram ufukta her gün yeni bir renge bürünerek toplumu etkilemektedir. Önemli olan ona nasıl bakacağınızı bilmektir.

Yirmi birinci yüzyılın bireyi olmak istiyorsanız, ister ressam, oyuncu, yazar, avukat, mühendis, doktor isterse siyasetçi olun, bilimsel gelişmelerden uzak kalmayın. Çağımız bilgi çağıdır. Yirmi birinci yüzyıl bilginin çağı olacaktır. Kuantum ise bu çağın lagosudur. Sizin için amaç bilim insanı olmak değil, bilimsel gelişmeler ile mesleğiniz arasında köprü kurabilecek kadar gelişmeleri takip mantığına sahip olabilmektir. Örneğin, CERN'de[3] gerçekleştirilen deneye, inanç gözüyle değil akıl gözüyle bakabilirsen içinde yaşadığın yüzyılın bir bireyi olmayı başarabilirsin.

Gezegenimizin geleceğine geçmişte olduğu gibi, siyaset insanları değil bilim insanları yön verecektir. Ne bilimsel devrim ne de endüstriyel devrim, siyasetçilerin başarısı olarak tarihe geçmemiştir. Yaşadığımız yüz yılda, saygın bir kişiliğe sahip olabilmeniz ne kadar düşünebildiğiniz, ne kadar bilebildiğiniz ve bilgilerinizin ne kadarını bir senteze ulaştırabildiğiniz ile doğru orantılı olacaktır. Kırmızı halılarda yürüyen magazin dünyasının renkli simalarında bile bu özellikler aranacaktır. Hızla değişen dünyamızda bilgisizler, tarihe gömüldüğünü sandığımız köleliğin yeni adayları olmaya mahkûm olacaklardır; bilenler efendi, bilmeyenler köle. Aklınızın efendisi olmak sizin elinizdedir!

[3] Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi: Fransa-İsviçre sınırında bulunan dünyanın en büyük parçacık fiziği laboratuvarı.

İnsanoğlu kendini fark ettiği ilk günden beri gerçeğin ne olduğunu anlamaya çalışmıştır. Kuantum fiziği, atom veya molekül gibi çıplak gözle görülmeyen çok küçük boyutlarda gerçeğin yazıldığı bir amentüdür. Bunun ne kadar basit yazıldığını ilerleyen sayfalarda göreceksiniz. Gerçeğin ne olduğuna karar vermeden, kuantum etrafında koparılan fırtınalara bir anlam veremezsiniz.

Tanrı önce ışığı değil gerçeği yarattı. İşte bu nedenle önce işe, "Gerçek nedir?" sorusu ile başlanır. Sir Francis Bacon'un *Gerçek Üstüne* (*On Truth*) adlı kitabı, İsa'yı çarmıha çivileyen Pontius Pliatus'un ünlü sorusu ile başlar:

Quid est varitas?[4]

Bizde bu kitapta aynı soruya yanıt arayarak işe başlayacağız: Gerçek nedir?

Bu sorunun yanıtı; gerçek şudur denilemeyecek kadar karmaşıktır. Şayet gerçek sizin için akıl yolu ile ulaşılması olanaksız soyut bir kavram ise, bu sorunun yanıtı ilgi alanınızın dışındadır. Merak etmeniz gerekmez. Kendi soyut gerçek tanımınızın içini istediğiniz gibi doldurabilirsiniz. Gerçek, tarikat şeyhinin, geleneklerin veya kutsal kitapların söylediği gibidir der; işin içinden çıkarsınız. Yer, içer, eğlenir; çok da mutlu olursunuz.

Resim 1: *Caravaggio (1571-1610). Caravaggio beş yüzyıl önceki gerçeği çizmişti.*

[4] Gerçek nedir?

Gerçek bütün somutluğu ile karşınızda duruyor olur fakat aldırmazsınız. Zalim Pontius Pliatus, çarmıha germekte olduğu İsa'ya tarihsel gerçeğin Roma olduğunu, ona son bir ders vererek hatırlatmıştır. Önemli olan karşımızda bize bakan veya bakanın arkasında, Roma'nın gücü gibi kendini gizleyen gerçeği görebilmektir.

Bu kitap, gizemlere bürünmüş gerçeğe ulaşmanın yollarını işaret etmek için yazılmıştır. Şimdiye kadar hiçbir kitabın, kutsal kitaplar da dâhil, gerçeğin resmini sayfalarına eksiksiz yansıtamadığını akılınızdan çıkarmayın. Sonsuz bilgeliğin sırrına kimse eremez; bilgilerin hünkârı âlimi-mutlak tanrı sadece bilenleri makamına kabul eder. İnsan, tanrının soluğunu orada duyar. Bilim, insana bu soluğu duyarak kulak verir; gerçeğe giden yolun haritasını çizer. Kimileri bu yolda yürür, kimileri kendisi yürümese bile yürüyenlerin gerçeğe doğru gittiklerini bilir. Kimileri gerçeği efsanelerde arar, kimileri ise gerçeğin ne olduğu ile hiç ilgilenmez. Yani akıl sahibi olduğunun farkında değildir, yaşamak onun için yeterli bir gerçektir.

Algı alanımız içindeki en çarpıcı gerçek, içinde yaşadığımız evrendir. Evrenin dinamikleri karşısında akıl, "Gerçek nedir?" sorusunu, "Gerçek nasıl davranır?" sorusuna dönüştürür. Bu sorunun yanıtını vermek olasıdır: Evren, gerçeğin davranışlarını matematik aracılığıyla dile getirir. Doğa olaylarını ifade edebilen matematiksel modeller gerçeğe giden yolun aydınlığıdır.

Matematik ve geometriyi sayılar, şekiller, formüler, teoremler, hipotezler oluşturur. Kim korkar hain matematikten diyerek biraz cesur olun ve aklınıza güvenin. Esasında ben burada sizi matematik bilgisi ile boğmayacağım. Göreceksiniz tek bir formül dahi yazmadan size gerçeğin ne olduğunu anlatmaya çalışacağım. Bununla birlikte, gerçeğin dili, yukarıda belirttiğim gibi matematiktir. Herkes az veya çok matematik bilir, size bu bilgi yeter. Gerçeğin davranışları ile ilgili her önerme ispat ile sonuçlanırsa bir anlam taşır. İspat doğruluğun, doğrulukta gerçeğin ölçüsüdür. Sayılara, şekillere, formüllere

dokunamazsın, tadamazsın, koklayamazsın. Onlar soyut var olanlardır; aklımızın bir köşesinde vardırlar. Dört işlemi biliyorsanız yeterli bir matematik bilgisine sahipsiniz demektir.

Soyut sözcüğünü matematiğin bir sıfatı olarak kullanmanın ne anlama geldiğini açıklayalım. Lise eğitimi almış her öğrenci: "Bir noktadan eşit uzaklıkta bulunan noktaların geometrik yerinin bir daire" olduğunu bilir. Şimdi çevrenize bakın bu tanıma uyan somut bir nesne görmeyi deneyin. Göremezsiniz. Ne daire sandığınız Dolunay ne de Güneş bu tanıma uyar. Bu matematiğin soyut niteliğinden ileri gelir. Ucu 0,5 milimetre kalınlığında bir pergel ile çizdiğiniz daire size gerçekten daire gibi görünür. Ancak gerçek hiç de öyle değildir. Çünkü göz 0,5 milimetre ile 0,4 milimetreyi ayırt edemez. Çember üzerindeki bir yay parçasına büyüteç ile bakın, örneğin büyüteç elli kere büyütüyor olsun, çıplak göz ile her noktasının merkeze aynı uzaklıkta olduğunu gördüğünüz incecik yay elli kere büyüyünce kalınlığı 2,5 santimetre olan bir şeride dönüşür. Daireye büyüteç ile baktığınızda şerit üzerindeki her noktanın merkeze uzaklığının aynı olmadığını görürsünüz; yani ortada tanıma uyan bir daire yoktur. Buna karşın daire, aklınızda bir yerde vardır, yani soyut bir var olandır. Sayılar da daire gibi, aklımızın bir yerinde düşünerek varlığına karar verdiğimiz soyutlamalardır. Matematik bu soyut var olanların bilgisidir, kaynağı akıldır.

Resim 2: *Platon. (MÖ 427 - MÖ 347). Gerçeğin ne olduğunu düşünen ilk filozof Platon'dur.*

Gerçeğin davranışlarını belirlemek için, neyin gerçek neyin kurgu neyin söylence olduğuna karar vermek durumundayız. Platon'un ünlü kuramı mutlak gerçeğin, *ideal*ar olduğunu söyler. Onun için gerçek idealardır. Kuram, gerçeğin idealar ile kavramsallaştırıldığı bir soyutlamadır. Çarmıha gerilen İsa gerçek midir yoksa söylence midir? Dinler tarihi bunu gerçek olarak not düşmüştür. Ünlü *mağara* benzetmesinde Platon duvara düşen gölgelerin gerçeğin yansıması olduğunu, mutlak gerçeğin ise mağaranın dışında tasarladığımız idealar olduğunu söyler. Hâlbuki çarmıha gerilen İsa mağara duvarında gölge değil dışarıdadır, yani somut bir gerçektir.

Gerçek, mağara duvarındaki gölge değil mağaranın dışındaki Roma askeridir. Amacımız Platon'un felsefesini analiz etmek değildir. İdealar gibi soyut var oluşlar ile matematik arasındaki ilişkiye dikkat çekmektir. Matematik de idealar dünyasında var olandır; gerçeğin yazıldığı kitabın alfabesidir. Sayılar, dört işlem, geometrik şekiller, çapı gören çevre açının doksan derece oluşu vb. soyut dünyanın gerçekleridir. Bizim somut dünyamızda algıladığımız gerçeği gösteren yoldur.

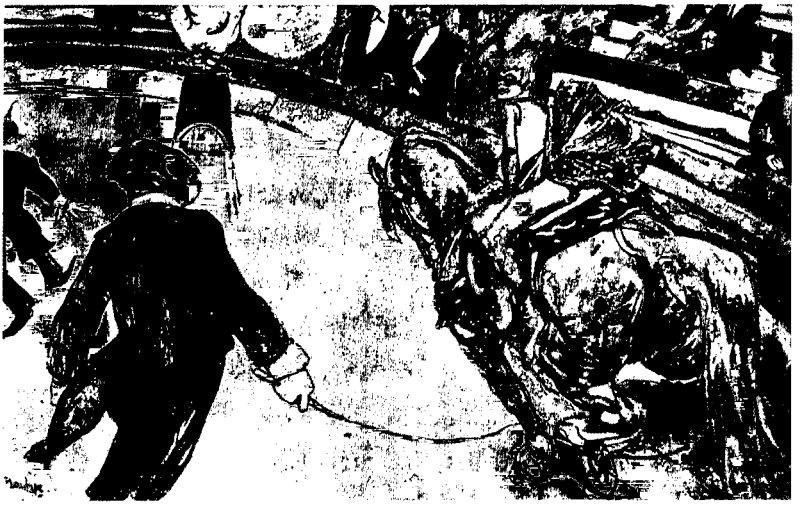
Çok sayıda düşünüre göre, matematik, idealar dünyasında bir soyutlamadır. Matematik, soyut uzayda kendine bir varlık alanı oluşturan gerçeğin dilidir. Algılarımızdan kaçan saklı gerçek matematik ile anlam kazanır. Matematiğin bu özelliği, günümüze kadar güçlü bir merak konusu olmuştur. Böylesine soyut bir dil, somut gerçeği nasıl ifade edebilir? Matematiksel kavramların bütünü algılarımızın ötesinde kendine özgü soyut bir uzay oluşturur mu? Tartışma bu soruların yanıtı üzerinde odaklanmıştır. Birçok filozof matematiğin böyle soyut bir varlık alanı oluşturmasının söz konusu olamayacağını, bunu düşünmenin bile bir anlam taşımadığını ve bir spekülasyon olduğunu, matematiğin sadece bir bilgi olduğunu ileri sürer. Bu görüşe karşı çıkanlar ise, mutlak gerçeğin kendisini matematik kavramlarından oluşan soyut uzayda belli ettiğini iddia ederler. Bu tan-

rının ayetlerini matematik ile yazdığı anlamına gelir. Soyut var oluşu tanrı temsil eder. Bu noktada, gerçek arayışı, Platon kuramı ile bir paralellik gösterir.

Aydınlanma Çağı Avrupa'sında akıl, yaşamı düzenleyen bir güç olarak yeniden keşfedilmiştir. Farabi, İbni Sina, Ebu'l Huzeyl, El-Kindi, El-Razi gibi zamanlarının ötesine geçen İslam düşünürlerinin eserlerinin Latinceye çevrilmesi sonucunda kadim Yunan düşüncesiyle tanışan Avrupa, insana verili olan aklı fark edebilmiştir. Yunan mucizesini doğuran *ispat kavramı* yeni bir mucizeyi karanlık Orta Çağ Avrupa'sında başlatmıştır. Pozitif hukuk, hümanizm, bireycilik, cumhuriyet, sekülarizm, monarşilerin siyasi güç kaybı, işçi sınıfının doğuşu, sınıf bilincinin oluşması ve kapitalizm inanç yıllarından akıl yıllarına geçişin işaretleridir. Gerçeği tanımlamada inancın çizdiği sınırların yerini aklın çizdiği sınırların alması, sanat ve felsefeyi yeni hedeflere yöneltmiştir. Dinsel öğelerin egemen olduğu kilise sanatının yanında, toplum yaşamının egemen olduğu yeni bir ekol belirmiştir.

Resim 3: *Meryem ve Çocuk İsa. Giovanni Bellini (1430-1516).*

Sanatçı, ilgisini gökyüzünden Paris'in çay bahçelerine ve Pigalle'in eğlence hayatına çevirivermiştir. Henri Toulouse Lautrec, *Kırmızı Değirmen* kabaresindeki fahişelerin hayatını veya sirk cambazlarını tablolarına aktarırken aklının ucundan bakire Meryem Ana geçmemiştir. Devlet, akıl geometrisi içinde şekillenmeye başlamış; dinsel öğretiler, sosyal yaşamda aklın kritiği ile yer değiştirmiştir. Tüm zamanların en etkin yapıtların-



Resim 4: *Fernando Sirki'nde, Henri de Toulous-Lautrec (1864-1901).*

dan biri olarak kabul edilen Imanuel Kant'ın *Arı Aklın Eleştirisi* bu dönemi yansıtır. Çağın düşünürleri akıl, bilgi, kutsal ve gerçek arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Akıldan kaynaklanan geometri ve matematik gibi *apriori*[5] bilgilerin, o günlerde uygarlığın ölçüsü olarak kabul edilen yapı sanatının temellerini oluşturması, eğitim sisteminde normatif bilimlerin yerini pozitif bilimlerin almasına neden olmuştur. Birey aklın değerini bu dönemde anlamaya başlamıştır. Üniversiteler fizik, kimya, biyoloji, jeoloji gibi temel bilimleri programlarına almışlar; ilmi-simya, fizik ve kimya ile yer değiştirmiştir. İnsanlık gerçeği, dinsel doğmalarla değil akıl yoluyla anlamaya başlamıştır. Dini yaratan spekülatif akıl, kadim Yunan'daki gücüne yeniden kavuşarak dinsel doktrinlere alternatif olmaya başlamıştır. İnsanlık, gerçeği artık bilimin çizdiği sınırlar içinde arıyor. Ünlü tarihçi Will Durant bu dönemi "Akıl Yılları" (Age of Reason), Katolik öğretinin egemen olduğu yılları da "İnanç Yılları" (Age of Faith) olarak

[5] *apriori:* Her türlü deneyden önce ve bağımsız olarak yalnızca akla dayanan; tanımlardan ya da kabul edilmiş ilkelerden çıkarılmış bilgi.

tanımlar. Bu kitap, "Akıl Yılları"nı kavrayanlar veya kavramak isteyenler için yazılmıştır.

Bilim, doğa olaylarını *neden-sonuç* ilişkisi ekseni üzerinde kurgulayıp matematik modellerle ifade eder. Matematiğin verdiği sonuçlar ile gözlem ve deneylerin verdiği sonuçlar arasında bir uyum varsa matematiksel model gerçeğin davranışını yansıtır; uyum yoksa model sadece araştırma değeri taşır yani bir matematik alıştırmasıdır. Doğa olaylarını ve nedenlerini kâhinler değil bilim insanları bulur. Halley kuyruklu yıldızının ne zaman geleceğini, dünya üzerinde nereden gözleneceğini veya Güneş tutulmasının ne zaman gerçekleşeceğini onlar hesaplar. Bu kesinlik, algılanan evrenin dışında idealar dünyasında matematiğin bir varlık alanı oluşturduğunu gösterir. Ne kadar çok matematik biliyorsak gerçeğe o kadar yaklaşırız. *Pisagor Teoremi* veya *Öklid Geometrisi* keşfedilene kadar, soyut matematiksel uzayda var olmaya devam etmiştir. Keşfedildiklerinde bilgiye dönüşmüşlerdir.

Teoremler ispatlandığında kabul görürler; varlığını bundan sonra bilgi olarak sürdürür ancak soyut olma özelliği devam eder. Keşfedemediğimiz daha birçok matematik vardır. Eğer geometri sadece düzlem üzerinde, Öklid'in keşfettiği şekli ile kalsaydı, küresel geometri keşfedilemezdi. Gün geldi, Riemann, eğri yüzey geometrilerini keşfetti. Newton kanunları keşfedilmeden önce de vardı ve geçerli idi ancak biz bilemiyorduk. Amerika kıtası keşfedilmeden önce nasıl varsa, *Newton Kanunları* veya *Öklid Geometrisi* de keşfedilmeden önce de vardır. Bunlar keşfedilmeden önce yoktu, diyebilir miyiz? Düşünün bir kere, Amerika kıtasının 1492 yılından önce olmadığını söyleyebilir miyiz? Aynı mantık bizi, idealar dünyasında matematiğin bir varlık alanı oluşturduğu sonucuna götürür. Matematiksel bağıntıların varlığı bir sandalyenin veya bir ağacın varlığı gibi değildir.

Kuantum mekaniği bu soyut denizlere açılmak demektir; uçsuz bucaksız okyanusta karşınıza Amerika kadar gerçek, bilinmeyen yeni kıtalar çıkar. Son elli yıldır cep telefonundan, bilgisayara ve lazer demetlerine kadar ne görüyorsanız hepsi bu soyut denizde yapılan yolculuklardan elde edilmiştir. Bilgi okyanusunda aklın yolculukları, şimdiye değin tarihin kayıt altına almadığı yeni bir tip koloni çağı doğurmuştur. Buna "*Bilgi Çağı*" veya "*Nano Teknoloji Çağı*" deniliyor. Kuantum fiziği bu yeni devrimin bilimsel alt yapısıdır. Bilenler efendi, bilmeyenler köle olacaktır.

Bilgi, değeri ekonomik parametreler ile ölçülen ve ticareti yapılan bir metaya dönüşmüştür. Para sahibi olmak bilgi sahibi olmanın veya bilginin değerini fark etmenin bir sonucudur. Bilgisayar ve yazılım teknolojilerindeki gelişmeler ve benzeşim hesapları, adına dijital denilen yeni bir gerçek ile insanlığı tanıştırmıştır. Matematik, benzeşim programlarıyla dijital gerçeğin kapılarını aralamıştır.

Bilimin gerçeğe bakışı bireysel değerlendirmelerin üstündedir. Toplumun değer yargılarından ve kültüründen bağımsızdır. Güzellik ve ahlak anlayışı geleneklerden ve toplumsal davranışlardan soyutlanamaz, onların etki alanı içinde kalır. Oysa matematik için böyle bir sınırlama söz konusu değildir. Mutlak gerçeğin ne olduğuna gelenekler ve toplumsal kabuller değil akıl karar verir.

Evrenin dinamiklerini yani gerçeğin davranışlarını; örneğin Ay'ın ne zaman tutulacağını veya bir kuyruklu yıldızın ne zaman nerde görüneceği veya Jüpiter'in Güneş etrafındaki bir dönüşünü ne kadar süre içinde tamamlayacağını matematikle hesaplarız. Bu olgu sadece fiziksel dünyamız ile de sınırlı değildir; orucun ne zaman açılacağını, beş vakit namazın ne zaman kılınacağını matematiksel bağıntılar verir. Dolayısıyla matematik, fiziksel ve sosyal gerçeği bizlerin anlayış sınırları içine çeken bir dildir.

Şayet evreni tanrının yarattığına inanıyorsanız, ben böyle kutsal bir güce inanıyorum diyorsanız, tanrının ayetlerini de matema-

tik ile yazdığına da inanacaksınız. Ben buna da inanıyorum. *Tanrı bana göre en usta matematikçidir; âlim-i mutlaktır. Bilim ise bu kutsal âlim-i mutlağın bilgisini topluma taşır. Ben bir bilim insanı olarak kendimi bir şeyler öğrenmek isteyen bir meraklı olarak görüyorum. Din adamları gibi tanrı adına konuşmuyorum; onu anlamaya çalışıyorum.*

Gerçekten de matematik, çevremizde gözlemlediğimiz doğa olaylarının geçmişini ve geleceğini ifade eden bir dildir. Bilim çok sayıda birbirinden farklı doğa olayının meydana gelme nedenini kurgular ve nasıl sonuçlanacağını matematik bağıntılarla ifade eder. Evren ise çok sayıda doğa olaylarının bir bütünüdür. Önemli olan evreni bir bütün olarak açıklayan bir bağıntının var olup olmadığıdır. Böyle bir bağıntının var olup olmadığı şimdilik bir tartışma konusudur. Şayet varsa ve bulunabilirse açıklanmamış bir şey kalmamış olacaktır. Şimdilik bir bilinmeyen olan *Her Şeyin Teorisi* denilen matematiksel bağıntı tüm fizikçilerin hayalini süslemeye devam ediyor.

Bilim gerçeğe giden yolu *neden* ve *nasıl* sorularına yanıt arayarak işaretler. Örneğin su molekülü hangi atomlardan yapılmıştır? Kutuplar neden soğuk veya ekvator bölgeleri neden sıcaktır? Güneş neden ışıldar? Kolesterolü yüksek insanların kalp krizi geçirme olasılığı neden yüksektir? Uranyum çekirdeği neden kararsızdır? Yaz aylarında rüzgâr neden denizlerden karalara doğru eser? Bu soruların yanıtlarını aramak insanlığı gerçek ile tanıştırır. Ancak kimi konularda benzer soruları yanıtlamak biraz güçtür. Örneğin elektron nedir veya neden içinde yaşadığımız uzay üç boyutludur? Zaman nedir? Uzay nedir? Bu tür sorular kitabın ilgi alanı dışındadır.

Tanrı insanı sadece kendisine dua etmesi için değil soru sorması için yaratmıştır; aklın verili olmasının nedeni budur. Aklınız olduğuna göre anlamadığınız her şeyi sorgulamalısınız.

Yanıtını bilmediğin soruların peşine takılırsan, işte o zaman 21. yüzyılı anlayarak yaşayacak bir birey olursun. Gökyüzüne ve çevrene bak, göremediklerinin arkasında neler var, merak et. Soru sormak, yüz metreyi on saniyenin altında koşmak veya otuz metreden

gol atmak gibi zor bir şey değildir. İnsanların bildikleri bilmediklerinin yanında ihmal edilecek kadar azdır. Eğer buna rağmen soracak bir şey bulamıyorsan kültürel yaşamına yeni değerler ekle. Soru sormanın amacı, yazarı veya konuşmacıyı zor duruma düşürmek değil ona katkı yapmaktır. Sorunun yanıtı doğru veya yanlış ne olursa olsun, sen veya konuşmacı veya dinleyicilerden birileri bir şey öğrenir. Unutma ki bilgi tanrının kutsadığı bir değerdir. Bilgi, insanı diğer canlılardan farklı kılar. Ne kadar bilgili olursan o kadar farklı olursun.

Sevgili Aziz Nesin'in soru sormak hakkında çok öğretici bir öyküsü vardır. Anlatıldığı gibi, çevresi ile bilinçli ilişki kurmaya başlayan çocuk, gördüğü her yeni nesne ve olay ile ilgili olarak anne ve babasına sorular yöneltir: "Bu ne?", "Bu nasıl oluyor?" Öyle çok sorar ki anne ve baba bunalır ve birçok komik olay birbirini izler. Sevgili okuyucu, her kim olursan ol, ister lise, ister üniversite ister yüksek lisans öğrencisi ya da hukukçu, doktor veya mühendis veya imam ol; yeni karşılaştığın veya anlamadığın fakat ilgi duyduğun bir nesne, bir olay veya bir kavram hakkında bir şüphen varsa ve sen "nedir?", "niçin?" ve "nasıl?" sorularını yöneltmiyorsan, insana ait özelliklerin hepsini kullandığından şüphe duyarım. Kuantum fiziği böylesine basit sorulara verilen yanıtların oluşturduğu bir disiplindir.

Yaşam sadece her gün yaptıklarımızı tekrarlamakla sınırlı değildir. "Neden her gün hep aynı şeyleri tekrarlıyorum?" sorusuna bir yanıt bulmanız size yeni ufuklar açar. Afrika'da Safari veya Kanarya Adaları'nda tatil yapmak için paran olmayabilir ama düşünmek, hayal kurmak, nedenlerin ve nasılların peşine takılmak bedavadır. Bu kitap bir bedava yolculuk biletidir.

Güneşin doğup batması, rüzgârın sesi, yazın sıcağı, kışın soğuğu; dokunduğumuz, duyduğumuz, gördüğümüz, tattığımız, kokladığımız her şey bizim için gerçektir veya biz gerçeği böyle tanımlarız. Nükleer bombalar da biber gazı da bir gerçek; açlıktan ve susuzluktan hastalıktan ölen milyonlarca çocuk acı da olsa gerçektir. Bu

dehşet verici korkunç haksızlıklardan, zulümlerden bıkanlar bir teselli bulmak ve bir umut yaşamak için, bütün algılamaların ötesinde, bilemediğimiz bir gerçek var mıdır sorusunun peşine takılır gider. Çünkü çaresizdirler. Kimileri gerçeği sorular sormadan doğrudan kalıplaşmış yanıtlara bağlar. Tüm gerçeklerin kutsal kitaplarda yazıldığını ileri sürerler. Bireysel ve toplumsal davranışlara etik normlar koymakla işlevselliği olan kutsalı, kendi amaçları doğrultusunda bir öğretiye dönüştürürler ve bundan çoğu zaman çıkar sağlarlar. Bilim ile inanç arasında bir çelişki yaratarak kendilerine yaşam alanı oluştururlar. İster Hıristiyan, ister Müslüman, ister Yahudi, isterse Budist olsun, her inanç sisteminde insanlara soru sormayı yasaklayan tarikatlar ve eğilimler vardır.

Kanaat önderleri oluşturdukları egemenlik alanı içinde, gerçekle ilgilenmeden yaşarlar. Aralarında bir çıkar dayanışması vardır. Büyük bir çoğunluğu *Karun* gibi zengindir. Dünyanın her yerinde ve ülkemizde gençlerin akıl ile bağlarını koparan çok sayıda tarikat vardır. Günümüzde sivil toplum örgütü olarak anılmayı tercih ediyorlar.

Gerçeği, dünya nimetlerinden kendilerini soyutlayarak arayanlar var mı? Hani günümüzün Mevlanaları, Hacı Bayramı Velileri, Yunus Emreleri... Aralarında zengin olanı var mıydı? Onlar kendilerini gerçeğe, hakka adamış ölümsüz erenlerdir. Günümüzde kendisini kanaat önderi gibi gösteren hoca efendi lakaplı şarlatanlara kafasını sallayan bir genç olmayın; kendi gerçeğinize kendiniz karar verin, başkası sizin için karar vermesin. Bu kişiler, İslam uygarlığının Farabi, İbni Sina, Razi, El Kindi, Ebu'l Huzeyl, Gazali, Ebu Hayyan gibi büyük düşünürlerini anlamadan, bir akıl tembelliği içinde gerçeği tanımlamaya çalışırlar. Bu kitap sizi kendi gerçeğinize, diğer bir deyişle aklınızın değeri ile tanıştıracaktır; benden ve kanaat önderlerinden bağımsız olarak: tek başına ve yalnız. Tek şartım tüm aklınızı tüm takıntılarınızdan uzak tutmanızdır.

Gerçek sözcüğünün kavramsal içeriği nedir? Pozitif bilimlerin tanımladığı gerçeğin dışında aklımızla ulaşmadığımız aşkın bir gerçek var mıdır? Kuantum fiziği acaba bu aşkın gerçeği mi ifade ediyor?

Neden sıcak cisim kendiliğinden soğurken soğuk cisim kendiliğinden ısınmaz? Neden ocaktaki tencerenin içindeki çorba, masaya getirildiğinde daha sıcak değil de daha soğuktur? Bunlar öylesine sıradan olgulardır ki üzerinde hiç düşünmeye gerek duymadan, çorbanın soğuyacağını bilirsiniz.

Isı bir enerji şeklidir; ısıyı alan cismin sıcaklığı yükselir, ısıyı veren cismin sıcaklığı düşer. Bu çok basit bir olgudur. Isı alışı veya verişini göremeyiz. Soğukta, ellerimizi koltuğumuzun altına sokarak ısıtmaya çalışırız. Çünkü koltuğumuzun altı daha sıcaktır. Soğuk parmaklarımız oradan bir miktar enerji alarak ısınır. Isının ne olduğunu derinlemesine bilmeden ısı sözcüğünü günlük yaşantımızda kullanırız. Sakın sıcaklık ile ısıyı karıştırmayın! Sağlıklı insanın vücut sıcaklığı 36,5 santigrat derecedir. Vücut ısısı değil. Isı bir enerjidir, kömürü yakınca ısı elde edersiniz. Şömineye elinizi yaklaştırınız parmaklarınız parlak alevlerin saçtığı ısıyı soğurur ve sıcaklığı yükselir. Bir cisimden ısı çekildiğinde cismin sıcaklığı düşer, verildiğinde artar. Sıcaklığın düşüşünü veya yükselişini termometre ile ölçebiliriz. Isı akışını göremeyiz fakat termometre bize ısının nereden nereye aktığını söyler. Sizin yapacağınız sadece termometrenin ne demek istediğini anlamaktır.

Gerçek, termometrede ölçtüğün sıcaklıktır.

Bu gerçeği inkâr edebilir misiniz? Vücut sıcaklığınız 36,5 veya 37 santigrat derecenin üstüne çıktığında hasta olmuşsunuz demektir. Yukarıdaki paragrafta söylediklerim gerçeğin günlük yaşantımızdaki yansımalarıdır. Sokaktaki herhangi birine sorsanız, derine inmeden yazın sıcak kışın soğuk olduğunu söyler. Şimdi aklınızı karıştıracak bir soru yöneltiyorum: Gerçek sadece ölçülebilen büyüklükler midir? Ölçüm eyleminin ötesinde bir gerçek var mıdır? İlerleyen

sayfalarda bu soru tartışılacaktır. Çevre ile ölçülen büyüklükler cinsinden ilişki kurma, termometrede sıcaklığın ölçülmesi gibi, yaşama nesnel bir bakış getirir. Düşüncelerimiz çevre ile olan ilişkilerimizde dışlandığında, belli bir süre sonra problemleri anlama çabalarımız tıkanır. Bir sömürü düzeni olan kapitalizm bu eğilimin sonucudur, dünyayı ve toplumu kâr edilecek bir ortam gibi gördü. Gerçeğin ve gücün sermaye olduğunu dikte etti, tüm liberalleri de arkasına taktı. Son zamanların sevimli grubu antikapitalist Müslümanları bile aşağılayan bir tavır içine girdiler.

Kuantum fiziği, gerçeğin davranışlarını yalnız termometrede ölçülen sıcaklık ile dışa vurmadığını söyler, gerçeğin bilgisine ulaşmanın tek yolunun beş duyumuzla algıladığımız çevremiz ile sınırlı olmadığını not eder. Katı determinist[6] görüşün dışında gerçeğin davranışlarını soyut matematiksel bir varlık alanı içinde tanımlar. Olasılık fonksiyonu veya olasılık dalgası olarak bilincimize kazıdığımız bu soyut matematik, yani Schrödinger denklemlerinin çözümleri, tanrının soluğu olabilir mi? İlerleyen sayfalarda bu ilginç iddiayı tartışacağız.

Burada biraz daha ayrıntıya inerek, bilim ile gerçek arasındaki ilişkiyi bir benzetme ile açıklamaya çalışacağım. Bilimsel bir teori veya öz Türkçesi bilimsel bir kuram, gizemli bir şehrin haritasına benzer. Haritanın kâğıt üzerinde kapladığı alan şehrin kapsadığı alandan çok küçüktür. Eğer elinizde iyi bir harita varsa, haritanın işaret ettiği caddeler, meydanlar, binalar, sokaklar ile harita arasında bire bir örtüşme vardır. Harita sadece bir kâğıt parçasıdır, ancak şehre ait tüm bilgileri içerir. Bilimsel teorilerde bir haritaya benzerler, olayların haritaları gibidirler. Belirli bir hız ile belli bir doğrultuda fırlatılan bir taşın ne zaman, nerede, hangi hızda olduğunu yerçekimi kuvvetine bağlayan teoriler doğru olarak verir. Olayların ha-

[6] *Determinizm* ya da *belirlenircilik* evrendeki olayların bilimsel yasalarla belirlenmiş olduğunu ve bu olayların gerçekleşmesinin zorunlu olduğunu ileri süren görüş. Bu görüşe göre her şey önceden belirlenmiştir ve değişmez. Bu nedenle herhangi bir olasılık düzeyi içermez, mutlak gerçekliktir.

ritasını çizebilmek için iki temel bilgiye gereksinim vardır. Birincisi tüm maddesel cisimlerin dinamiklerini yerçekimi kuvvetinin belirlediği, ikincisi başlangıç anındaki cismin hız ve konumudur. Bunlar bilindiğinde her şey hesaplanabilir. Newton hareket denklemleri gerçeğin bir haritasını çizer. Uçaktan paraşütle atlayan bir sporcu veya serbest bırakılan bir taş aynı anda yere düşmez. İkisinin düşme sürelerini Newton kanunları belirler. Ancak paraşütle atlayan sporcunun hareketine havanın direnci etkir ve yere yavaşça iner, hiçbir yeri kırılmaz. Buradan çıkarılacak sonuç:

Bilimsel kuramlar gerçeğin kendisini değil gerçeğe giden yolun haritasını verirler. Bu haritalardan gerçeğin bilgisini elde ederiz. Kuantum kuramı veya kuantum fizik gerçeğe giden yolun haritasını nasıl çizer?

Şimdi bu yol haritasını kimin çizdiğini anlamaya çalışalım.

Bilim, doğa yasalarını matematiksel modeller ile ifade eder; örneğin *Newton Hareket Denklemleri* matematiksel bir modeldir. İşin içine matematik girdiğinden ve sonuçları doğru olarak verdiğinden, insanlık doğa kanunlarına gerçeğin kendisi gibi bakar. Ancak evreni, yani mutlak gerçeği, bir bütün olarak veren matematiksel bir bağıntı, henüz ortalarda görülmemektedir. Acaba ulaşılmak istenen mutlak gerçek bir hayal midir? Acaba bilim gerçek diye bir hayalin peşinde mi koşmaktadır? Matematiğin doğa olaylarını başarı ile açıklayan bir dil olması ve bilimin bunu gerçeğe giden yol olarak benimsemesi bir hata mıdır? Matematiğin dışında gerçeği seslendiren bir başka dil var mıdır?

İnsanlık gerçek nedir sorusunu yanıtlamak için binlerce yıldır düşünür durur. Çok sayıda filozof, din adamı, düşünür, bilim insanı bu sorunun arkasında ömürlerini tüketmişlerdir. Gerçeğe modern bilimin gözlükleri ile bakıldığında, ayaklar daha sağlam yere basar. Bilim ve çağdaş felsefe gerçeğin tanımını vermek yerine, gerçek nasıl davranır sorusunun yanıtını arar. Gerçek şudur diyemezsiniz. Der-

seniz odanızdaki tüm ışıklar söner. Önemli olan gerçeğin nasıl tanımlandığı değil, evrenin davranışlarını yansıtan kanunların nasıl tanımlandığıdır. Gerçeğe giden yol budur. Gerçeği bulmak için gerçeğe giden yol üzerinde yürümek gerekir.

Bu satırları okurken boş konuştuğumu, laf kalabalığı yaptığımı düşünebilirsiniz. Bunda da haklısınız. Gerçek o kadar kolayca anlatılacak bir şey değildir. Sizi, "Gerçek nedir?" sorusundan uzaklaştırıp "Gerçek nasıl davranır?" sorusunun peşine takarsam kaybolabilirsiniz. Evrenin nelerden meydana geldiğini bilmek, gerçeği bilmek değildir. Uygun bir ekranda kozmik mikrodalga art alan ışıma sinyallerini veya hidrojen atomunun spektrumunda kesikli frekans çizgilerini görürsünüz. Neden hidrojen atomu böyle kesikli bir tayf verir veya neden ekranda bu sinyaller yer alır sorusunun yanıtını bilirseniz gerçeğe giden yolda bir adım atmış olursunuz. Örneğin HDL kolesterolünü hangi molekül oluşturur? Bu önemli bir sorudur. Bununla birlikte, bu bilgi gerçeği bildiğiniz anlamına gelmez. Neden HDL kolesterolü yüksekliği kalp krizi riski taşır? Bu iki soruyu birlikte yanıtladığınızda siz artık gerçeğin yolunda yürüyorsunuz demektir. Ancak neden uzay üç boyutludur veya elektron nedir gibi sorular ile karşılaştığınızda bu soruları da gerçeğin çizdiği çerçeve içinde yanıtlayabilirsiniz.

Doğa kanunları evrenin tüm gerçek listesini kapsar mı? Doğa kanunlarının dışında insanlığı gerçeğe ulaştıracak bir yol ve yöntem var mıdır? Şimdi bu ilginç soruların yanıtlarını okuyacaksınız, eğer sabrınızı tüketmemişsem.

Bilim gerçeğin davranışlarını bulabilmek için modeller kurgular. Modeller insanı mutlak gerçeğe götüremez, ancak yaklaştırır. Örneğin efsaneler de birer modeldir. İnançlara açıktır. Nuh Peygamber'in 30 milyon canlıyı gemisine nasıl bindirdiği gibi soruların yanıtlarıyla ilgilenmeden, bindirdiğine inanabilirsiniz. Bilimsel modeller bun-

lardan farklıdır. Önemli olan hangi özellikteki modellerin bizi gerçeğe yaklaştırdığı hakkında bir fikre sahip olmaktır.

Hangi modeller inandırıcıdır? Neden model yaparız?

Model yapmanın amacı iletişim kurabilmektir. Diğer insanlarla iletişim kurabilen modeller başarılıdır, yani geçerli modellerdir. Çok küçük yaşlarında kızım, henüz daha konuşmaya başlamadan, hayvanat bahçesine gitmek istediğini, boynunu uzatıp kendini bir zürafaya benzeterek ifade etmeye çalışırdı. Onun çocuk kafasında zürafa diğer hayvanlardan çok farklı görünüşüyle bir model yani iyi bir iletişim aracı oluvermiştir. Yaşadığım bu örnek, model oluşturmanın, bilinç kazanmanın doğal bir sonucu olduğunu kanıtlar. Önemli olan modelin inandırıcı olması ve iletişim sağlayabilmesidir.

Modeller, şayet matematiksel olarak ifade edilebiliyorlarsa, gelecekte neler olabileceğini tahmin edebilirler. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler, örneğin iklim modellerinin tahminlerindeki başarısını çok artırmıştır. Neredeyse meteorologlar İstanbul'un veya Ankara'nın hangi semtine, saat kaçta yağmur yağacağını veya hangi hızda rüzgâr eseceğini tam olarak tahmin edilebiliyorlar. Pasifik Okyanusu'ndan fırlatılan bir füzenin, ABD'den fırlatılan bir füze tarafından, Hint Okyanusu'nda 15000 m. yükseklikte, 30 dakika sonra vurulacağı hesaplanabiliyor. Yani falcılar gibi size üç vakte kadar bir para görünüyor demiyor; fü-

Resim 5: *Stephen Hawking (1942-).*

ze 30 dakika sonra şu konumda diğerini vuracak diyor. Bilimsel metodolojide ölçülebilen büyüklükler anlam taşır. Bir nesnenin çok soğuk veya çok sıcak veya çok küçük veya çok büyük olması değil o nesnenin ne kadar sıcak veya ne kadar soğuk veya ne kadar büyük veya ne kadar küçük olması bir anlam taşır. Bilim insanlarına göre; Ay, Dünya'dan çok uzak değil. Ay, Dünya'dan yaklaşık olarak 380.000 km uzaktadır. Yerkürenin henüz matematiksel bir modeli yapılamadığı için depremin nerede ve ne zaman olacağını bilemiyoruz.

Modern fizik, olayları matematiksel modeller ile ifade eder. Gerçeği, matematiğin sınırlarını çizdiği idealar dünyasında arar. Mutlak gerçeğin, Stephen Hawking'in ifadesiyle "Her Şeyin Teorisi"nin matematiğin varlık alanı içinde tanımlı olduğunu düşünür. Fizikteki akıl almaz gelişmelere rağmen, her şeyin teorisinden hâlâ çok daha uzağız. Belki de bir hayaldir. Ben onun bir hayal olduğunu düşünenlerdenim. Böyle de olsa bilim evrenin derin gizemlerini matematiksel bir dil ile anlatmada başarılı olmuştur.

Neden doğa gizemlerini matematiksel bir dil ile anlatmaktadır?

Bu sorunun kesin bir yanıtı yoktur, ancak tartışılması insana keyif verir. İşin içine bir miktar metafizik girer. Şimdi bu keyifli konuyu sizinle paylaşacağım, sizlerin de kafasına benim gibi, matematik nasıl bir şeydir sorusu gelecektir. Lise veya üniversitede öğrendiğiniz matematiğin kavramsal kaynağına inebilirsiniz. Bu keskin sorunun yanıtını aklınız ve mantığınız ile kendiniz bulabilirsiniz. Bu satırlar sadece bir kapı aralıyor, girip girmemek size bağlı. Ne demek istediğimi bir iki örnek ile açıklamaya çalışacağım. Işık bir dalga hareketidir. Bunun böyle olduğunu lise fizik derslerinde gördük, ayrıca ilerde üzerinde duracağız. En büyük gerçek olarak tanımladığımız evren, madde ve dalgadan oluşan bir enerji sistemidir. Gerçe-

gin nasıl davrandığının peşine takıldığımıza göre bizi gerçeğe dalgalar sürükleyecektir. Kırmızıdan mora kadar değişik renklere bürünen görünür ışık bir elektromanyetik dalgadır. Işığın hızı, *Maxwell Elektromanyetik Teorisi*'ne göre hesaplandığında, ölçülen hız ile trilyonda bir hatayla uyuştuğu görülür. Yani matematik, fiziksel bir büyüklük olan ışık hızını aynen verir, bunun yorumu bana göre insanın aklından kaynaklanan matematiğin tanrının sesini duyduğudur. Elektronun manyetik momenti 1,001159665218073 olarak ölçülmüştür. Yine aynı teori trilyonda bir hata ile aynı değeri verir. Daha sonraki bölümlerde matematiğin kuantum fizik bağlamında nasıl yaratıcının sesini duyduğunu göreceksiniz.

Acaba matematik doğadan bağımsız kendi başına bir varlık alanı oluşturur mu? Bu sorunun anlamı şudur: Matematiksel bağıntılar, örneğin sayılar veya bir teoremin ispatı, duyularımız ile algıladığımız fiziksel evrenin dışında bir düşünce dünyası içinde kendiliğinden var olanlar mıdır, yoksa aklımızdan kaynaklanan bilgiler midir? Bir teorem ispat edilince mi var olur, yoksa onun ispatı zaten o düşünceler dünyasında vardır da akıl onu bilgiye mi dönüştürür. Bu konuda sizin de kendinize ait bir fikriniz olması ne kadar değerli bir insani özelliktir.

Platon gerçeği, soyut idealar ile örtüştürerek tanımlamıştır, bu konudan daha önce söz etmiştik. Ünlü düşünür için gerçek, idealardır. Ünlü *Mağara* örneğinde duvarlardaki gölgelerin gerçek değil sadece gerçeğin görüntüsü olduğunu, esas gerçeğin mağaranın dışında bu gölgeleri veren nesne ve olaylar olduğunu, yani idealar olduğunu ileri sürer. Acaba matematik, bize gerçeğin bilgisini taşıyan Platon'un idealarına benzeyen bir var oluş mudur? Fiziksel evrenin dışında bir varlık alanı mıdır?

Uygarlık önce sayıları keşfederek bu soyut alan ile tanışmıştır. Sayı doğrusu üzerinde dört işlemi tanımlamış, doğru üzerindeki her noktanın bir sayıya her sayının bir noktaya tekabül ettiğini düşün-

müş. Sıfırın soluna geçerek negatif sayıları, sıfır noktasından bir dik çıkarak düzlemde karmaşık sayıları, düzleme sıfır noktasından bir dik çıkarak uzayda vektörleri tanımlamıştır. Böylece somut şekiller yani geometri ile soyut sayılar ve vektörler arasında ilişki kurmuştur. Eğer çevrede sayılacak bir şey olmasaydı sayılar ortaya çıkar mıydı veya akıl sayıları düşünür müydü? İşte sizi uykusuz bırakacak bir soru. Dikkat edecek olursanız bütün bu gelişmeler akıldan kaynaklanmıştır. Akıl soyut olan bir varlık alanı içinde, Kristof Kolomb'un Amerika'yı keşfetmesi gibi, sayılar ve şekiller arasındaki ilişkileri keşfetmiştir. Amerika, keşfedilmeden önce de gerçekti. Bu ilişki de keşfedilmeden önce, soyut varlık alanı içinde bir gerçektir. Ancak bağıntıların soyut evrende varlığı kanıtlanamaz, yani metafizik bir problemdir. Siz kendiniz de düşünerek bir karar veriniz, benim etkim altında kalmayınız.

Evren yaratıldığı andan itibaren bu bağıntılar soyut matematiksel âlemde vardılar; hiç yok olmadılar. Ancak insanlık bunları keşfedene kadar onlara ait bilgilerimiz eksikti; bu soyut dünyada varlıklarını sürdürmekte idiler. Modern bilim, insanın bu soyut varlık alanı içinde ne kadar ilerlerse, gerçeğe o kadar yaklaşabileceğini söyler, yani ne kadar çok matematik bilirsek gerçeğe o kadar yaklaşırız. *Newton Hareket Denklemleri* Newton'dan önce var olduğu gibi, *Pisagor Teoremi* de Pisagor'dan önce de vardı. Bu olguyu tekrarladığım için üzgünüm, anlatma özürlü olduğumdan kendime pek güvenemem. Gerçek ile matematik arasındaki ilişki, yani ispat kavramı, bana göre insanlık tarihinin en büyük keşfidir. Kimileri Yunan mucizesini ispat kavramına bağlar, bende onlardan biriyim. İspat edebildiğin öneri gerçektir, gerçek kelam yani laf değil akli bir olgudur.

Tartıştığımız konuya, matematiğin bir keşif mi yoksa bir icat mı sorusu ile açıklık getirebiliriz. Keşif, Nil Nehri'nin kaynağı gibi, var olan bir şeyi bulmaktır. İcat ise, Thomas Edison'un ampulü bulma-

sıdır. Matematik ise bana göre, icat ve keşfin birlikte yapıldığı akli bir eylemdir. Ne yalnızca keşif ne de yalnızca icattır.

Zifiri karanlık bir odaya girdiğimizde hiçbir şey göremeyiz; odanın içinde ne var, ne yok bilemeyiz. Bir masa veya bir sandalye veya duvarda asılı resim, gerçek olmasına karşın göremediğimiz sürece onların gerçekliği hakkında karar veremeyiz. Elektrik düğmesine basıp oda aydınlatıldığında neler var, neler yok her şey ayan beyan ortaya çıkar. Gördüklerimiz bize somut gerçeğin bilgisini taşır. Masadan veya sandalyeden veya resimden yansıyan ışık gözümüze gelir ve beynimizde görüntüye dönüştüğünde nesneleri algılarız. Çıplak gözle görülmeyecek kadar küçük mikro-organizmaları mikroskop ile görünür boyutlara getiririz. Işık, mikroskop gibi optik bir düzenekten geçerek bize gerçeğin bilgisini getirir. Artık mikroplar bizim için bir gerçektir. Uzayın derinliklerindeki belli belirsiz ışımalara teleskoplarımızı yönelterek bizlerden çok uzak konumlarda ne var ne yok gözleriz. Güneş lekeleri, Ay kraterleri, Satürn halkaları, Ağrı Dağı kadar gerçektirler. Sadece gördüklerimiz gerçek olarak tanımlayamayız; göremediğimiz daha genel olarak duyularımızla algılayamadığımız gerçekler de vardır. Bunlar görmediğimiz, duymadığımız, koklamadığımız, dokunmadığımız, tadamadığımız ancak aklımızla bulduğumuz gerçeklerdir.

Şimdi aklımıza şöyle bir soru takılır: *Acaba duyu organlarımızla algılayıp bilincimiz ile sentezlediğimiz ve gerçek olarak kabul ettiklerimiz, mutlak gerçeği temsil eder mi?*

Bu soruyu somuta indirgemek için şöyle bir deney tasarlayalım. İçinde balık adamların yüzdüğü çapı on metre olan küresel bir cam havuz düşünelim. Bu devasa kavanozun içinde balık adamlar bulunsun ve yüz metre yarışan sporcuları izliyor olsun. Biz dışarıdakiler, atletlerin başlangıç ve bitiş çizgileri arasında bir doğru boyunca koştuklarını görürüz, bizim için gerçek budur. Balık adamlar ise atletlerin bir doğru üzerinde değil bir eğri üzerinde koştuğunu gö-

rür. Hangisi gerçek, karar verebilir misiniz? Bu kitap bu soruya yanıt aramaktadır, okuyucusunu çarptırılmamış gerçek ile tanıştırmayı amaçlamıştır.

Bilimsel yöntem, somut gerçeğe ulaşmanın yollarını aydınlatır, gerçeği arayan herkes için geçerlidir. Kuantum fiziği de bu yöntemin ürünüdür. İlköğretim eğitimi almış herkes suyun iki hidrojen ve bir oksijen atomundan oluşan bir molekül (H_2O) olduğunu bilir. Bir bardak suya bakarken molekülleri görebilir misiniz? Mikroorganizmaları, örneğin bir bakteriyi çıplak gözle görmeniz mümkün mü? Göremediğiniz için pek çok hastalığa neden olan *streptococus* gerçek değildir, diyebilir miyiz? Kuantum fiziği duyu organlarımızla somutlaştıramadığımız gerçeği aklımızda tasarladığımız bir mikroskopla somutlaştırmaya benzer.

Kuantum, görünmeyen bir dünyayı gözlerimizin önüne seren sihirli bir aynadır; bizleri duyu organlarımızla algılayamadığımız bir metrenin on milyarda biri kadar küçük gerçeklerle tanıştırır. Bu kadarla da kalmaz, son yirmi yıldır büyük boyutlarda görünen gerçeğin arkasında var olan resmi de çizer. O nedenle çok sayıda insan kuantum ile ilgilenmeye başladı; önce bilim insanları, düşünürler, sanatçılar, edebiyatçılar, iş adamları, siyasetçiler ve sonrada herkes. Siz de onlardan biri olmalısınız.

Kuantum, evreni klasik fizik gibi yerel değil bir bütün olarak görür. İlerde bu konu ayrıntılı olarak tartışılacaktır. Bize sunduğu en son sürpriz de budur.

Yerküre dediğimiz bu gezegende insan ayağa kalkıp etrafına baktığı ilk günden beri duyduklarının, gördüklerinin, yediklerinin ne olduğunu ve kim olduğunu merak edip durmuştur. Yaşadığının farkına vardıktan sonra hayatın anlamını sorgulamaya başlamıştır. Bu merak bilim, teknoloji ve inanç sistemlerini doğurmuştur. Günümüz insanlığı evreni, sosyal yaşantıda dâhil, bir bütün olarak algılamanın peşindedir. İnsan hakları bu algılamanın bir görüntüsüdür.

Artık toplumlar ve bireyler kendilerini diğer toplumlardan ve bireylerden doğuştan sahip olduğu bir özellik nedeni ile farklı görmemektedirler; ırkçılık ve din şovenizmi tüm toplumların uzak durduğu bir ayrışma nedenidir. Tüm insanların paylaştığı değerler sisteminde artık kültürel farklılıklara rağmen tek bir ortak insanlık kültürüne doğru yönelme vardır. Kuantum fiziği tüm farklılıkları ortadan kaldıran, her insan için değişmez olan gerçeği yansıtan disiplindir. Burada palavraya veya rivayete yer yoktur.

Bu kitap baştan sona gerçek nedir sorusunun arkasına takılmıştır ve sizi de bu entelektüel maceraya davet etmektedir. Bu sorunun yanıtı kendisini tanımak isteyen insanın, evren içindeki konumunu belirler. Bir gizemin ne olduğunu veya bir problemin çözümünün ne olduğunu bilmemek bir yetersizlik değil sadece bir eksikliktir. Aklın insana verilmiş olmasının nedeni bu eksikliği gidermektir. Kendinizin kim olduğuna kendiniz karar verirsiniz. Düşüncelerimi aktardığım bu satırlar, düşünmekten, sorgulamaktan, eleştirmekten, protesto etmekten, tartışmaktan, şeyhlere, şahlara, kanaat önderleri denilen şarlatanlara biat etmeyi içine sindiremeyen, tanrının kendilerine verdiği en değerli servet olan aklına güvenen gençler için yazılmıştır. Yazdıklarımın gerçek olmadığı hakkında bir şüpheniz var ise çekinmeden bana kafa tutunuz; *Beşiktaş Çarşı Ruhu* taşı-

Resim 6: *Düşünen Adam Heykeli. Auguste Rodin (1840-1917).*

yınız. Bu tutum sizin akıllı olduğunuzu gösterir. Çünkü gerçek aklidir. En büyük gerçek olan evren, doğa gizemlerinin yazıldığı bir kitaptır. Gerçek de bu kitabın satırlarına serpiştirilmiştir, diğerleri hurafelerdir. Sizleri kandırmak için uydurulan palavralardır. Yaşam sadece her gün yaptıklarınızla sınırlı değildir. Afrika'da safari veya Kanarya Adaları'nda tatil yapmak için yeterli paranız olmayabilir; düşünmek, hayal kurmak neden ve niçin sorularının peşine takılmak bedavadır. Bu kitap sizi bu bedava yolculuğa çağırmaktadır.

Gerçeğin ne olduğunu bilmek yetmez, hangi kültürel ortam gerçeği arar sorusunu da yanıtlamak gerekir. Hiçbir şey göründüğü gibi değildir. Gerçek, gerçek sandığımız şeylerin görüntüsü gibi olmayabilir. Bilim, felsefe, sanat ve inanç sistemleri gerçeği insanlığın anlayış sınırlarına sokmaya çalışan kültürel etkinliklerdir. Felsefe derin düşünme ve kavramlar üreterek akıl yolu ile gerçeğe ulaşma yollarını gösterir. Bilgi nedir? Var olan nedir? gibi temel soruların yanıtlarına ulaşmada aklı yönlendirir. Bilim gözlem, deney ve akıl yürütme ile doğa ve sosyal olayların arkasındaki değişmeyen büyüklükleri saptar. Birbirini tekrar eden olaylar dizisinden kendi yasalarını kurgular. Sanat, görünen evrenin arkasında göremediğimiz duymadığımız gerçekleri ve güzellikleri sergiler. İnanç sistemleri ise bilim, sanat, felsefenin vicdana yansıyan görüntülerinden ahlâkın doğrularını yani ahlaki gerçekleri açıklar. Bilim, çağdaş düşünce ortamının ve yaşamının en etkin aktörüdür. Bu sahnede rol almak sana bağlıdır, diğerlerine değil.

Doğa bilimlerinde deney, gerçeği ortaya çıkarmak için tasarlanır ve yapılır. Bir çiçeğin taç ve çanak yaprak sayısı gerçeğin bilgisidir. Bir havan topu mermisinin ilk hızı ve hızın yatay eksenle yaptığı açı bilinirse, yani deneyin başlangıç şartları bilinirse, hareketinin her anında tüm bilgilerini hesaplamak mümkündür. Bu sadece havan topunun hareketi ile sınırlı bir olgu da değildir. Klasik fizik

elektrik, optik, ısı ile ilgili tüm olayların geleceğini ve geçmişini bilen bir kâhin gibidir. Bir taşın ne zaman yere düşeceği Newton denklemlerini veya beton duvarın iç ve dış yüzeylerinin sıcaklıkları bilindiğinde, iki yüzeyin ne kadar zaman sonra aynı sıcaklıkta olacağı kesin olarak ısı geçirgenliği denklemlerini çözerek hesaplanabilir. Yani fizik, kristal küresi denklem olan bir kâhindir. Bir merceğin odak uzaklığı bilindiğinde, ışık demetlerini kaç derece bükeceği veya bir iletkenden geçen akım şiddeti bilindiğinde etrafında meydana getireceği manyetik alan şiddeti bilinir. Bu bilgileri bize hep matematik verir.

On sekizinci yüzyılda başlayıp çeşitli şekillerde sürmekte olan endüstriyel devrim klasik fizik, kimya, biyoloji ve matematik üzerine kurgulanmıştır. Elektromanyetik dalgayı cep telefonlarında sese, TV ekranlarında renk, hareket ve sese dönüştüren teknoloji, doğa gerçeklerini ifade eden doğa kanunları üzerine kurulmuştur. İnsan etkinliği olarak buğdayın veya tekerleğin keşfi arasında ilke olarak hiçbir fark yoktur. Bir mucize arıyorsan tek gerçek mucize kendi aklındır. Pozitif bilimlerin ve teknolojinin tanımladığı gerçek bu akıl üzerine kurgulanır. Bundan yüz yıl önce yaşayan bir insan için TV veya internet bir mucizeyken, günümüz insanı için gerçektir. Bütün bu teknolojik mucizeler çevre ile ilgili soruları yanıtlama çabalarının ürünüdür.

Bir mucize arıyorsan tek mucize kendi aklındır. Seni diğer yaratıklardan ve düşünmeyen insanlardan farklı kılar.

Soru sorabilmek bir akıl işidir, kas kuvveti ile soru sorulmaz, sadece yumruk atılır. Sizden kimse yüz metreyi on saniyenin altında koşmanızı veya otuz metreden gol atmanızı beklemez. Bir sorunun yanıtını bilmemek veya bir doğa gizemini açıklayamamak sadece bir eksikliktir. Bilim kendi doğrularını sürekli sorgular. Bilimin gerçek olarak ortaya koyduklarının aksini düşünmek, gerçek

öyle değil böyle de olabilir demek, bilimsel gelişmenin motorudur. Bir atomun merkezinde neler olduğunu merak etmeden atom çekirdeğini keşfetmek mümkün olur mu? Aziz Nesin'in çok sevdiğim bir öyküsünde, küçük bir çocuk büyüklere "Bu ne?" sorusunu onları çıldırtacak sıklıkta sorar. Bu çocuğun masum soruları insanın gizemleri keşfetme dürtüsünü gösterir. Kültürümüzde bilmek takdir edilen bir özelliktir: "*Bana bir harf öğretenin 40 yıl kölesi olurum.*"[7] gibi. Ben de bir şeyler öğretmeye çalışıyorum. Öğrenip öğrenmemek size kalmış. Bildiklerimiz bilmediklerimizden çok azdır, bilecek çok şey vardır. Kendi aklının değerini bilenler ve fikri hür vicdanı hür gençler ile ilişki kurmaktır amacım, aptallar ve bir başkasına kul köle olanlar ile değil.

Kuantumun ne olduğunu kavramak için önce son beş yüz yıl içinde bilim ve teknolojide yaşanan gelişmelerin toplumun sosyokültürel yapısında ne gibi değişimler yarattığını anlamak gerekir. On altıncı yüzyılda Nicolaus Copernicus ile başlayan Galileo Galilei, Isaac Newton ve Johannes Kepler gibi insanlık tarihine geçmiş bilim insanlarının katkıları ile devam eden bilimsel devrim, on sekizinci yüzyılda buhar makinelerinin keşfi ile yerini endüstriyel devrime bırakmıştır. Endüstriyel devrim yeni bir sosyal sınıfın ve yeni bir siyasetin dünya sahnesinde rol almasına neden olmuştur. Toprak sahiplerine hizmet eden köylüler, çok kısa bir süre içinde fabrika sahiplerinin emrinde çalışan işçilere dönüşmüşlerdir. Endüstriyel devrim yeni bir sosyal sınıfın, işçi sınıfının ortaya çıkmasına neden oldu. Koskoca Osmanlı İmparatorluğu bu iki devrimin mantığını anlayamadığı için yok olmuştur. Eğer Türkiye Cumhuriyeti ben geliyorum diyen bilgi devrimi süreçlerinde katılımcı olarak yer almaz ise gelecek ülkemiz için çok karanlık olacaktır.

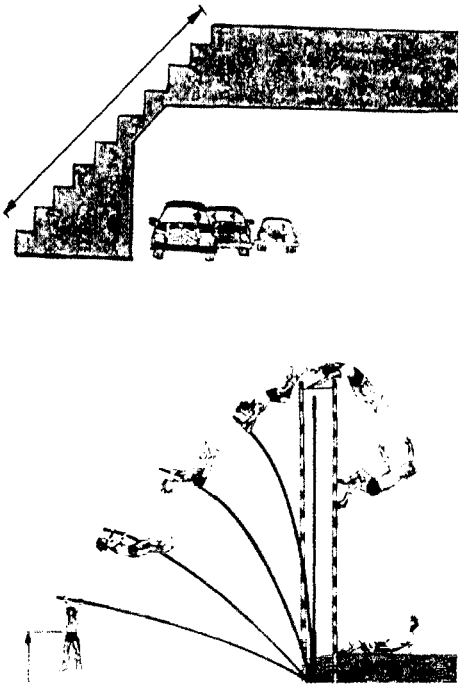
Refah toplumu hâline gelmiş ülkeler arasında yeni bilgilere ulaşmak için kıyasıya bir rekabet süregelmektedir. Dünya önümüzde-

[7] Hz. Ali.

ki yirmi-otuz yıl içinde, bilgiyi üretenler, bilgiyi kullananlar, bilgiyi depolayanlar, bilgiye ulaşanlar, bilgiyi dağıtanlar veya bunları yapamayanlar olarak ikiye ayrılacaktır. Yapabilenler güçlü yani zengin, yapamayanlar güçsüz yani yoksul kalacaklardır. Bu olgular dünyanın tüm dengelerini değiştirecek güçte yeni bir devrimin ayak sesleri olarak bilinmektedir. Önemli olan ülkemizi yöneten siyasetçiler ile ülkemizi yönlendiren entelektüellerin bu ayak seslerini duyacak bir kulağa sahip olmasıdır. Ne yazık ki ülkemizi, gelişmeleri algılayacak aydınlanma kültürünü içselleştirmiş bir toplum hâline getirmeyi başaramadık. İnsanlık kimilerine göre *Bilgi Çağı*, kimilerine göre *Nanoteknoloji Çağı* denen devriminin doğum sancılarını yaşamaktadır.

Kuantum fiziği, adı ne olursa olsun bu yeni devriminin bilimsel altyapısını oluşturmaktadır. Gezegenin ortak alfabesi bundan böyle kuantum fiziği olacaktır.

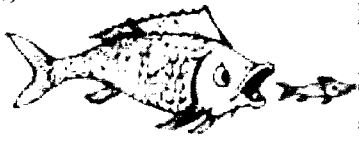
Şekil 1'de sırıkla yüksek atlayan bir sporcu gösterilmiştir. Atlet koşarken ulaştığı enerjiyi, sırığı özel düzeneğe dayayınca, sırıkta gerilime dönüşür. Bu durum oku fırlatmak için gerilen yaya benzer. Sırık engelle karşılaşınca biriken tüm enerjiyi atlete aktarır ve yukarıya doğru yükselme hareketi başlar. Atlet örneğin 6.00 metre yüksekliktekı çıtaya ulaşana kadar her yüksekliği sürekli olarak geçer. Sürekli sözcüğü burada atletin bir anda bir veya iki metre yükselmediği ifade eder. Yükselişin her anı santimetre veya milimetre birimleri ile dahi ölçülebilir. Çıtayı aşan sporcunun düşüşü ise anidir, burada yükselişteki süreklilik yoktur. Kaba olarak yükseliş klasik fiziğe düşüş ise kuantum fiziğine benzetilebilir. Diğer çizimde ise Bir köprüye çıkış merdiveni gösterilmiştir, örneğin basamak yüksekliği on beş santimetre olsun merdivenlerden çıkan insan her adımda basamak kadar yükselir, yani yükselişi kesiklidir en küçük birim basamağın yüksekliğidir. Kuantum fiziğinde büyüklükler merdiven basamakları gibi kesiklidir.



Şekil 1: *Sporcu çitaya sürekli değerler alarak aşar. Merdivende ise köprüye her adımda basamak yüksekliği kadar yani kesikli değer alınarak çıkılır.*

Esasında biz farkında olsak da olmasak da kuantum yani miktar kavramı günlük yaşantımıza daha da genel doğanın mantığında vardır. Belki biraz zorlama olacak ama Oktay Rıfat bir şirinde:

Büyük balık küçük balığı yutar demişler.
Bok yemişler, sen balık değilsin ki Ahmet,
Onu sardalyalar düşünsün
Mek parmak mek parmak daha
Sonu selamet.



Resimdeki küçük balık büyük balık için sanki bir kuanta, yani bir miktar meselesi ve doğa bu miktarı mantığında bir içgüdüye dönüştürmüş. Oktay Rıfat ise bu içgüdüye Ahmet'in refleksini mek

parmak ile aktarıyor. Önemli olan hem küçük hem büyük balığı beraber düşünebilmektir.

Bilim ve teknoloji ile sosyokültürel yapı arasındaki ilişkiler endüstriyel devrim sonrası da aynı işlevsellik ile süregelmektedir. Şimdilerde gözlerimizin önünde endüstri ötesi bir refah toplumu şekillenmektedir. Endüstriyel devrim sürecinde olduğu gibi, bu süreçte de zenginler, yani bilgi sahibi olanlar daha zengin; fakirler, yani yeterli bilgi stokuna sahip olmayanlar, daha fakir olacaktır.

Yirminci yüzyıl üç önemli keşfe şahitlik yapmıştır. Birincisi, Einstein'ın özel ve genel rölativitesi (1905-1917); ikincisi, kuantum fiziği (1920-1930); üçüncüsü ise evrenin artan bir hızla genişlemekte (1930) olduğu keşfidir.

Bilim tarihçilerinin, felsefecilerin ve sosyal bilimcilerin yirmi yüzyılın en önemli entelektüel başarısı olarak değerlendirdikleri kuantum fiziği toplumun beş-on yıl içinde unutacağı bilimsel bir moda mıdır yoksa doğa gerçeğini ifade eden kalıcı bir öğreti midir?

Çevremizde gördüğümüz daha genel olarak algıladığımız her nesne süreklilik gösterir. Elimize aldığımız taş veya odun parçasında, cam veya metal bir tabakada madde sürekli dağılmıştır; ne kadar dikkatli bakarsak bakalım kesikli bir görünüm ile karşılaşmayız. Bir mermere bakarak içinde hangi elementlerin bulunduğunu, nelerden yapıldığını görebilir misiniz? Ne kadar ufalarsanız ufalayın sürekli bir görünüm verir. Her şey, her büyüklük süreklidir. Lambadan çıkıp gözümüze gelen ışık veya bir futbolcu vurduğunda topun kazandığı enerji, yani hızı süreklidir. Top hiçbir zaman büyük bir hızla havada süzülürken birden bire yere düşmez veya yavaş giden bir top birden bire kendiliğinden hızlanmaz. Yani topun hızı kesikli değerler almaz. Maksimum hız değeri ile sıfır arasındaki her değeri artan veya azalan sıralarda alır. Bir su damlasını mikroskobun altında koyup baksak bile, yine hep süreklilikle karşılaşırız. Bizim için her nesne her büyüklük süreklidir; hava süreklidir, su süreklidir. Çiçeğin yaprağı, kuşun kanadı, gibi nesneleri oluşturan maddenin kesikli değerler al-

dığını düşünemeyiz. Klasik fiziğin tanımladığı her büyüklük süreklidir. Madde sadece bizim görebildiğimiz gibi midir yoksa gördüklerimizden farklı özellikler taşır mı?

Bu sav doğru ise, yani gerçek, gördüklerimiz duyu organlarımız ile algıladığımız gibi ise, gerçeği tanımlayan tüm büyüklüklerin sürekli olması icap eder.

Gerçeğin bilgisine nesnelerden gözlerimize gelen ışık ile ulaşırız. Bir şeyin gerçek olabilmesi için önce var olması gerekir. Ancak var olanlar gerçektir, çok kabaca var olmanın ilk şartı yaklaşık olarak görünür olmaktır. Görünür olmayan gerçeklerde vardır. Onları ayrıca tartışacağız. İşte tam bu noktada kafalar karışır. Çünkü atomik boyutlarda, yani bir metrenin 10 milyarda biri boyutlarında, başta enerji, açısal momentum gibi fiziksel büyüklükler sürekli değerler almazlar; kuantum kanunlarının izin verdiği sadece belli değerleri alırlar. Topun hızı veya soluduğumuz hava veya bilgisayarın ekranı gibi sürekli değildirler. İşte insanın aklını karıştıran fark bu noktada başlar. Şimdi kesikli değerin ne olduğunu bir örnekle açıklayalım.

Basit bir kristalin güneş ışınlarını yedi renge ayırdığını herkes bilir. Benzer bir olaya, gök kuşağının sırasıyla yedi renge ayrılmasında da rastlarız. Renkler birbirlerinden kesin çizgiler ile ayrılmamışlardır. En uzun dalga boylu kırmızı önce yavaşça turuncuya dönüşür ve renk dönüşümü en kısa boylu maviye kadar sürekli bir biçimde devam eder. Bildiğimiz gibi gezegenimizin tek enerji kaynağı güneş ışınlarıdır. Yerküreye enerji güneş ışınları ile gelir. İşte bu bir gerçektir. Aksini düşünmek ve başka bir enerji kaynağının varlığını iddia etmek anlam taşımaz. Buradan ışıma enerjisinin sürekli değişim gösterdiği sonucu çıkarılır. Bunu gözlerimiz ile görürüz.

Her renk bir dalga boyuna, yani bir frekans değerine tekabül eder. Güneşin yayınladığı enerji süreklidir. Frekans bir noktadan bir saniyede geçen dalga sayısıdır, korkulacak anlaşılmayacak bir şey değildir. İleride bunları çizimlerle açıklayacağız. Odamızı aydınlatan lambanın yaydığı ışık da güneş ışığı gibi süreklidir. Ancak olaylar bi-

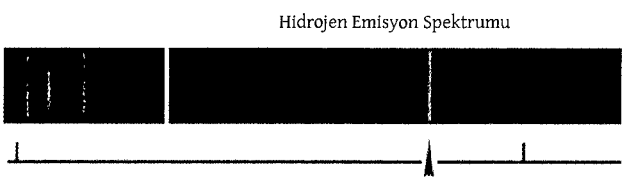
raz kurcalanırsa her nesnenin yaydığı ışığın sürekli olmadığı görülür. Bunun anlamı yukarda belirtildiği gibi enerjinin, yani ışınımların, sürekli bir karakter taşımadığıdır. İşte bu noktada kuantum fiziği, enerjinin kesikli olmasının nedenlerini açıklar.

Kuantum yani miktar sözcüğünün sürekli olmayan kesikli büyüklüklere yakıştırılmasının nedeni de budur.

Hidrojen tüm elementlerin en basit olanıdır. Çekirdeğinde pozitif elektrik yüklü bir proton ve etrafında çeşitli yörüngelerde hareket etmekte olan negatif elektrik yüklü bir elektrondan oluşur. Bu bilgi ilköğretim okullarında dahi verilmektedir. Hidrojenin yapısını anlamakla, hidrojenden çok daha karmaşık atomik yapıları anlamanın yolları açılır.

Bir elementin atomunun yapısı, o elementin yaydığı ve soğurduğu ışınımların dalga boylarını ölçerek bulunur. Elementler yani periyodik cetveldeki her bir atom, kendisini karakterize eden dalga boylarındaki ışınımları yayar veya soğurur. Örneğin arabalarda sis lambaları olarak bildiğimiz sarı ışınımları sodyum, fotoğrafçılıkta kullanılan parlak ışıkları cıva lambaları verir. Söz konusu atomlar gaz veya buhar hâlinde iken yayınladıkları ışınımlar spektral analizden geçirilir. Bir demir parçası durduğu yerde ışık yaymaz. Spektrometreler, atomun yayınladığı ışınımları, kristalin güneş ışınlarını ayırdığı gibi, dalga boylarına, yani renklerine; göre ayırır. Hidrojen gazının yayınladığı ışınımlar kristal benzeri düzeneklerden yani tayf çizerden, yani spektrometrelerden geçirildiğinde, şimdiye değin hiç karşılaşılmamış bir tablo ile karşılaşılır. Güneş ışınlarının dalga boylarına göre sürekli dağılım göstermiş olmalarının aksine, hidrojen atomunun yayınladığı ışınımlar belli dalga boylarında, yani sürekli olmayan kesikli dalga boylarında, yayın yaparlar. Örneğin hidrojen tayfında görünen kırmızı rengin dalga boyu yaklaşık 650 mikron[8] iken ona en yakın sarımtırak ve sonra mavi rengin dalga boyu

[8] Bir mikron bir metrenin milyonda biridir.



Şekil 2: *Hidrojen Spektrumu.*

sırasıyla 480 ve 440 mikrondur, bu iki renk arasında başka bir dalga boyunda ışık yayınlanmaz. Bunun anlamı dalga boyunun sürekli değil kesikli olmasıdır; bu enerjinin de kesikli olduğu anlamına gelir. Dalga boyları ışınımların enerjilerini ölçen bir büyüklük olduğuna göre, hidrojen atomundan yayınlanan ışınımların enerjileri sürekli değil kesiklidir. Belli aralıklar ile yani belli miktarlarda yani belli kuantalar ile yayın yaparlar. Bu nedenle atomik boyutlardaki fiziğe kuantum fiziği denir. Bu özellik sadece hidrojen ile sınırlı da değildir. Şekil 2'de hidrojen atomlarından yayınlanan ışınların tayfı verilmiştir.

İşte insanların aklı bu noktada karışmaya başlamıştır. Çünkü klasik fiziğe göre enerji sürekli değişen bir fiziksel büyüklüktür. Hidrojen atomundan ve diğerlerinden yayılan ışınımların frekanslarının sürekli olması beklenir. Fakat gözlem beklentilere uymamaktadır. Bunun mutlak bir açıklaması olmalıdır.

Şekil 2'den anlaşılacağı gibi ışıma frekansları sürekli değillerdir. Gaz halindeki hidrojen, helyum, neon, sodyum ve moleküler hidrojenden yayınlanan ışığın tayfında frekansların kesikli oldukları görülmektedir. Siyah bant üzerinde renkli çizgiler farklı frekanslara dolayısıyla kesikli enerjilere tekabül ederler.

Hidrojen atomu ve diğer elementler ışıma şeklinde enerji yayınlarken neden klasik fizik kanunlarına uymuyor? Yaydığı enerji neden sürekli değil de kesikli? Bu sorulara yanıt arama kuantum fiziğinin kurgulanmasında önemli rol oynamıştır. Deneyler periyodik cetveldeki tüm elementlerin yaydıkları ve soğurdukları ışımaların kesikli olduğunu kanıtlamıştır. Klasik fizik kanunlarına göre sürekli olması

gereken enerji, çok sayıda deney ile kanıtlandığı gibi, sürekli değil kesiklidir. Her element kendine özgü farklı frekanslarda ışınım yayıyor, farklı frekans farklı renk demek, böylece renkler ile elementler etiketleniyor. Işınımlar elementlerin sanki kimlikleri gibidir. Birçok maddeden meydana gelen bir karışımın kimyasal analizi bu karışımın yayınladığı ışınların dalga boylarını veya frekanslarını ölçerek yapılır.

O dönem fizikçilerinin aklını, atom fiziği ile ilk bakışta ilgisi olmayan başka basit bir olay daha karıştırmıştır. Herhangi bir madde örneğin bir metal parçası, ısıtıldığında önce akkor hâle gelir sonra kırmızı ışınım daha da ısıtılırsa parlak göz kamaştıran beyazımsı ışınım saçar. Örneğin yüksek fırından demir, akışkan hâlde ve ışıyarak çıkar. Deneyler ışıma renginin malzeme yüzeyine değil sıcaklığa bağlı olduğunu göstermiştir. Yüksek sıcaklıklarda malzemenin ışıma yapması gibi çok basit bir fizik olayının, klasik fiziğin ısı ve ışınım kanunları, yani termodinamik kanunları ile açıklanması beklenmiştir. On dokuzuncu yüzyılın ünlü fizikçileri, başta Sir James Jeans ve Lord Rayligh olmak üzere ışıma yapan malzemeden kaynaklanan enerji yoğunluğunu sonsuz olarak hesaplamışlardır. Bu bir saçmalıktır.

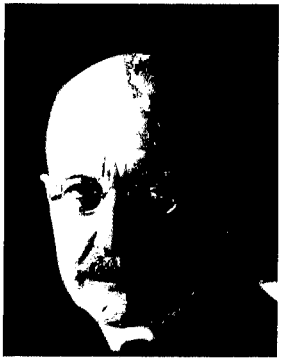
Işıma enerjisinin sürekli olduğunu benimseyen klasik fizik, akkor hâlindeki metalin yaydığı ışığın enerji yoğunluğunu, frekans değişimlerini sürekli kabul ettiğinden, daima sonsuz olarak vermiştir. Bu mantıksız bir sonuçtur. Akkor hâlindeki bir metalin ne kadar sıcak olursa olsun enerji yoğunluğu sonsuz olamaz. Klasik fizik, açıklanması gereken yeni bir olayla karşılaşmıştır.

Akkor hâlde bir cismin içinden alınan küçücük bir hacimden ışıma olarak çıkan enerjinin sonsuz olması mümkün değildir. Ortada çözülmesi gereken ciddi bir problem vardır. Klasik fizik bu basit olayı açıklayamamıştır. O dönem fizikçilerinin gerçekten kafasını karıştırmıştır. Kuantum fizik bu basit olayı açıklayarak ilk başarısını elde etmiş ve ilk Nobel Ödülü'nü almıştır.

Küçücük oyukta tüm frekanslarda titreşen ışımaya karşı gelen enerji yoğunluğu, en küçük değerinden en büyük değere kadar fre-

kansın sürekli değiştiği kabul edilerek hesaplanmıştır. Işınımların kesikli olma özeliği göz önüne alınmamıştır. Bu hesap yoğunluğu sonsuz verir. Çok saçama bir sonuç, hesabın dayandığı fiziksel kabulde bir yanlışlık olması gerekir. Büyük bir dahi olan Max Karl Ernst Ludwig Planck yapılan yanlışı bulmuştur. Işımayı, ısınan metalin değil metali oluşturan atomların yaptığını kabul ederek problemi çözmüştür. Hidrojen atomunun kesikli enerjilerde ışıma yaptığı bilinmekteydi.

Planck hesaplamalarını akkor hâlindeki metal atomunun da kesikli enerjilerde yani kesikli frekanslarda ışıma yaptığına dayandırmıştır. Atomlar, ışınımlarını ise sürekli frekanslarda değil de belli kesikli frekanslarda yapar. Bunun böyle olduğu hidrojen, neon, sodyum atomlarında görülmüştür. Metali oluşturan atomlar da kesikli frekanslar da ışıma yaptığını ön görüldüğünde problemin çözümü basitleşir. Max Planck bunu yapmıştır. Hesap sürekli değişken frekans üzerinden değil, kesikli frekanslar üzerinden toplama işlemi yapınca deneyle uyumlu sonuç verir. Bu kabul, gerçekten probleme çözüm getirmiştir. Klasik fizikte sürekli bir fiziksel büyüklük olan enerjinin kuantum fiziğinde kesikli değerler aldığı bu olayda da kanıtlanmıştır. Akkor hâlindeki metale klasik fizik gözlükleri ile bakanlar, acaba doğa böylesine garip özellikler içerir mi sorusunu sormaktan kendilerini alamamışlardır. Enerjinin daha genel anlamda fiziksel büyüklüklerin kesikli değer alması, yeni bir fiziğin kuantum fiziğinin doğmasına neden olmuştur.



Resim 7: *Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947).*

Işıma enerjisi veya ışıma kuantası= Planck sabiti x Işıma frekansı

$E=h.f$

Kafanız karışmasın bu bir sayının diğer bir sayı ile çarpılmasından daha karmaşık değildir. Planck, ışıma enerjisi kuantalarını yani ışığı oluşturan taneciklerin enerjisini (h.f) çarpımı ile ifade etmiştir. Burada "h" Planck sabitini, "f" frekansı göstermektedir.

Çarpım ile enerjisi verilen ışık taneciğine foton denir.

Foton kuantum fiziğinin temel kavramlarındandır, ilerde üzerinde ayrıntılı bir şekilde durulacaktır. Işığın tanecik karakteri taşıması kuantum fiziğinde anlam taşır. Klasik fiziğin böyle bir derdi yoktur. Işık gerçekten tanecik karakteri taşır. Parlak Güneş'e baktığınızda gözleriniz kamaşır. Gözlerimize ışık tanecikleri yani fotonlar çarptığı için kamaşır. Güneş ışığının içindeki yüksek frekanslı "morötesi", "x" ve "gamma" ışınları gözünüze çarptığında parçacık etkisi bırakır ve gözünüzü kamaşır. Fotoğrafçıların kullandığı parlak ışık veren cıva lambaları da benzer etkiyi yapar. Aklınızın bir köşesinde kırk vatlık lambanın verdiği ışığa düşünerek, bu nasıl tanecik olabilir diye bir şüpheye düşmeyin. Güneş ışınlarının frekansa bağlı olarak hangi bileşeninin tanecik karakterinde olduğu elektromanyetik dalga tayfını veren şekilde gösterilmiştir. Sayfa 61'deki Şekil 8'i inceleyin, kolayca anlayacaksınız.

Planck sabiti "h", klasik fizik ile kuantum fiziğinin geçerlilik sınırlarını çizen bir boyut ölçüsüdür. "Planck sabiti de nedir?" diye aklınıza takmayın. Nasıl İstanbul-Ankara kara yolu milimetre ile değil kilometre ile ölçülürse, atomik boyutlarda her fiziksel büyüklük Planck sabiti cinsinden ölçülür. Planck sabiti kuantum fiziğinin marka değeridir onu tanıtan logodur. Hangi uzunluklarda veya hangi enerjilerde kuantum fiziğinin geçerli olduğunu gösterir. Enerji, uzunluk ve zaman yani fiziğin temel büyüklükleri kuantum fiziğinde Planck sabiti cinsinden ifade edilir.

O günlerde yine benzer şekilde klasik fiziğin açıklamada zorlandığı diğer bir olay bilim adamlarının ilgisini çekti. Bakır bir levha üzerine düşen ışığın, levhanın bağlı olduğu elektrik devresinde hiçbir üreteç olmamasına, yani devrede bir pil olmamasına rağmen, devreden akım geçmesine neden olduğu gözlendi. Bakır levha üzerine ışık

düşünce devreye bağlı lamba yanıyor, yani akım geçiyor. Olay bu kadar basit. Lamba neden yanıyor, hayret uyandıran bir olay. Devreden akım geçmesi o günlerde herkesin kafasını karıştırmıştır. Einstein sanki Planck formülünü ve yorumunu bekliyormuş gibi problemi hemen çözüverdi. Sonraları fotoelektrik olayı olarak bilim tarihine geçen bu gizemi Einstein, ışığın tanecik karakterinde olduğu yani Planck formülü ile açıkladı. Kuantum fiziğinin kuruluşunda fotoelektrik olayı bir kilometre taşıdır. Bakır levha üzerine düşürülen ışığın frekansları ile devreden geçen akım arasındaki ilişkiler Einstein'ın *Fotoelektrik Denklemleri*'yle açıklanmıştır. Deney sonuçları, Einstein ve Planck'ın doğru düşündüğünü gösteriyordu. Planck ileri sürdüğü ışık taneciği yani fotonun, levhanın üzerine düştüğünde bakır atomlarına bağlı elektronlara çarparak onları atomdan kopartarak serbest hâle getirmesiyle devreden akım geçer, yani devreye bağlı lamba yanar. Fotoelektrik olayının açıklanması kuantum fiziğinin devrim niteliğindeki başarılarındandır.

Günümüzde bu denklemlere dayanılarak üretilen cihazlar günlük yaşantımızda çok geniş yer kaplamaktadır. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren güneş pilleri bir fotoelektirik olayıdır. Belki de ilerde enerji talebini çevreyi kirletmeden karşılayabileceklerdir. Yakın bir gelecekte yeşil enerji üretimi tüketimi karşılayacak düzeye çıkartılırsa bu, Planck ve Einstein sayesinde olacaktır. Ben kişisel olarak güneş pillerinin belli ölçüde enerji talebi karşılayabileceğine inanıyorum. Muhtemelen yirmi yıl sonra binaların çatıları güneş pilleri ile kaplanacaktır. Işığa hassas cihazlar ile birçok düzenek kontrol edilmekte, kapılar otomatik olarak açılıp kapanmakta, kazanlarda ateşleme düzenlenmektedir. Otomobil kapıları uzaktan açılıp kapatılabiliniyor, televizyonlar uzaktan kumanda edilebiliniyor. Kuantum fiziği bu keşif ile ikinci Nobel ödülünü aldı; yıl 1918.[9] O yıllarda Osmanlı İmparatorluğunda fotoelektrik olayını anlayan Avrupa'daki gelişmeleri takip edebilen bir bilim insanı var mıydı sorusunu kendi kendinize sorunuz. Ve cumhuriyetin değerini biliniz.

[9] Max Planck.

Kuantum fiziği atomik boyutların, yani bir metrenin 10 milyarda biri kadar küçük sistemlerin fiziğidir. Yani atom ve atom çekirdeğinin fiziğidir. Kuantum dünyasını anlayabilmek için önce atomun kabaca nasıl bir yapı olduğunu anlamak gerekir. Dünya üzerinde şu an yaşamakta olan 6,5 milyar insanı sıkıştırmak mümkün olsa, bir santimetre küp hacim içine sığar. Tabi bu sadece bir fantezi, anlamı bir atomun hacminin %99,9999999999999 boş olduğunu anlatabilmek için sıkça kullanılan bir benzetmedir. Maddenin en küçük yapısı olan atomun isim babası Demokritos (MÖ 460-MÖ 370) eline bir taş parçası alarak kendisine şöyle bir soru yöneltmiştir:

Bu taşı parçalara ayırsam, tekrar parçalasam sonunda parçalanmayan bir yapıya ulaşırım. İşte o birim daha küçük parçalara bölünemeyen atomdur.

Atom eski Yunancada parçalanamayan anlamına gelir. Burada amaç kuantum fiziğinin tarihsel gelişimini anlatmak değil, yukarıda belirtildiği gibi maddenin bize garip hatta imkânsız gibi görünen özelliklerini açıklamaktır. Belki maddenin veya ışığın bölünemeyen en küçük parçacığına ulaşamayabilirsiniz, ancak böyle bir parçacığın var olduğunu düşünmenize hiçbir engel yoktur. Bu düşüncenin ilginç yanı, madde gibi sürekli olduğundan şüphe etmediğimiz fiziksel büyüklüklerin dahi kesikli yani daha küçüğü olmayan birimlerden meydana gelmiş olmasıdır. Ancak biz maddenin kesikli özelliğini duyu organlarımız ile algılayamayız. Bunun anlamı, algılarımızın bizi her zaman gerçek ile tanıştırmadığıdır. Gördüklerinizin, duyduklarınızın, dokunduklarınızın, tattıklarınızın ötesinde de bir gerçeğin var olduğudur. Doğanın bu özelliği belki de kuantum fiziğine, klasik fizik gözlükleri ile bakanların kolayca kabullenebileceği en masum garipliğidir. Yani kuantum fiziği gerçek anlayışımızı, algılarımızı aşan soyut bir kuramdır.

Kuantum fiziği, algılarımızın ötesindeki evrene insan aklının çizdiği bir yakıştırma mıdır yoksa tanrının sesi midir? Kitap bu

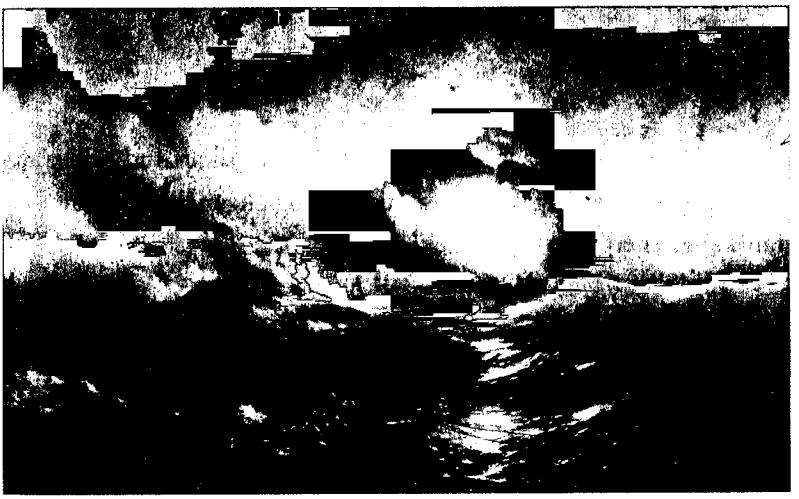
sorunun yanıtını vermek için yazılmıştır. Tanrıyı günlük yaşantımızdaki her işin içine sokanlara bir değerlendirme yapma imkânı sağlayacaktır.

Beğenelim veya beğenmeyelim, anlayalım veya anlamayalım kuantum fiziği geleneksel fizik ve gerçek anlayışımızı değiştirmiştir. Kuantum fiziği sokaktaki insan üzerinde yani derinliği olamayan ve de olması gerekmeyen insanda değil, onu anlamak isteyende hayranlık uyandırır. Komik Recep İvedik tiplemesinden bunu anlaması beklenemez. Ancak siz kafanızı biraz yorarsanız bir şeyler anlayabilirsiniz. Anlayabildiğiniz kadarı bile size çok şey kazandırır. Kuantum sözcüğünü moda yapan da bu olasılıktır. Şimdi fizik hocalığı ve bilgiçlik taslamadan sizleri, günlük hayattan aldığım örneklerle, bilimin en karanlık köşelerine yolculuk yapmaya, karmaşık gibi görünen olayların aslında ne kadar basit olduğunu anlamaya davet ediyorum. Kuantum fiziği geleneksel fizik ve gerçek anlayışımızı değiştirmiştir. Kuantum sözcüğünü moda yapan da bu değişimdir.

İşin içine kafanızı karıştıracak matematiği sokmadan, kuantum fiziğinin dayandığı kavramları anlamak için dalgalar hakkında genel bir bilgiye sahip olmak gerekir. Kuantum fizik aynı zamanda dalga mekaniği olarak da bilinir. Esasında evren, madde ve dalgalardan oluşan bir enerji sistemidir. İkinci bölümde sadece şekil kullanarak kuantum mekaniğinin kavramsal altyapısını oluşturan dalgalar anlatılacaktır. Matematiksel tarafını profesyonel fizikçilere, mühendislere bırakıyorum. Kuantum fiziğinin gerçeğin davranışlarını ifade etmekteki kabiliyetini, inanın bu şekilleri doğada gördüklerinizle ilişkilendirerek anlayabilirsiniz. Atomik boyutlarda gerçeğin bilgisini, ilerde kavramsal içeriğini dolduracağımız olasılık dalgaları veya diğer adıyla dalga fonksiyonları verir. Sakın lise sınıflarında yaptığınız gibi fizikten korkmayınız. Söyleyeceklerimi herkes anlayabilir. Sadece merak etmek yeterlidir.

2
Dalgalar

Başlangıç bölümünde belirtildiği gibi kitabın amacı okuyucuya, insanlığın en kutsal merakı olan gerçeğin ne olduğunu aktarabilmektir. Tanıklığını yaptığımız en büyük gerçek, içinde yaşadığımız çevre, etrafımızda meydana gelen olaylar, en genel anlamı ile evrendir. Bunları anlamadan gerçeğin ne olduğu hakkında anlatılanların tümü masaldan öte değer taşımaz. Daha önce belirttiğimiz gibi evren, madde ve ışımalardan oluşan bir enerji sistemidir. Gördüğümüz ve algıladığımız her şey enerjidir. Madde yani enerji, çevremizdeki nesnelerden, teleskoplarla gözlediğimiz uzayın derinliklerinde konuşlanmış gök cisimlerine kadar değişen bir var oluştur. Işık ise, en yakınımızdaki güneşten veya en uzağımızdaki parlak yıldızlardan gözümüze veya ölçü aletlerimize ulaşan enerjidir. Nasıl dünyamızın tek enerji kaynağı güneşten gelen ışınımlar ile çevremizi görüyorsak evrenin varlığını da bizlere hissettiren ışımalar yani enerjisidir. Enerji bir noktadan diğe-



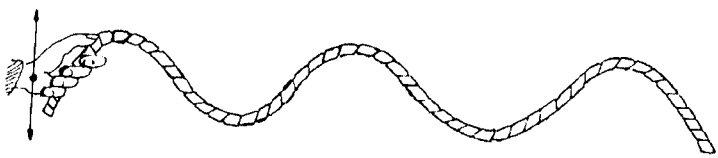
Resim 8: *Dokuzuncu Dalga, Ivan Ayvazovski (1817-1900).*

rine dalga hareketi ile taşınır; açık denizlerden kıyıya vuran dalgaların taşıdığı enerji gibi. Genel anlamda ışımalar, özel olarak görünür ışık, evrenin gizemlerini aydınlatan bir araçtır. Işımalar yani elektromanyetik dalgalar ile evreni anlamlandırırız. Dalgaları anlamadan gerçeği kavramak olanaklı değildir. Kuantum fiziği de dalga kavramına dayanır. Deniz karşısında oturduğunuzda keyif alarak izlediğiniz dalgaları çok basit şekiller çizerek anlatmaya çalışacağız.

Dalgaların oluşması ve yayılması için bir ortam gereklidir.

Örneğin deniz dalgalarının ortamı sudur. Bir ip üzerinde oluşturulan ve yayılan dalgaların ortamı ipin kendisidir. Şekil 3'te ip üzerinde yayılan bir dalga gösterilmiştir.

Su dalgaları üst üste geldiğinde dalgaların yayılma deseni farklılaşır.



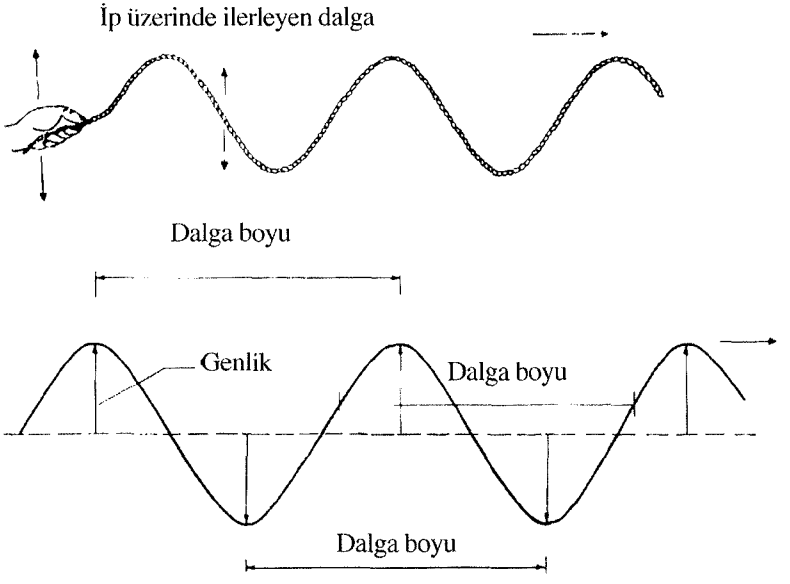
Şekil 3: *İp üzerinde yayılan dalga.*

Şekil 3'ten anlaşılacağı gibi elimizi aşağı yukarı indirip kaldırarak ip üzerinde dalga oluşturabiliriz. Dalga kaynaklandığı noktadan aldığı enerjiyi ip üzerindeki diğer noktalara taşır. Buradan basitçe anlaşılacağı gibi, dalga enerjiyi bir noktadan diğer noktaya taşıyan bir harekettir. Deniz dalgaları taşıdıkları enerjiyle kıyıları döverek çakıl taşlarına yumuşak oval şekiller verir. Ünlü deniz ressamı Ayvazovski'nin tablolarında da dalgaların nasıl bir enerji taşıdığı görülmektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, özel olarak bu örnekte, dalgaların meydana gelmesinin anlaşılması için titreşim düşey doğrul-

tuda yapılmıştır. Bu genelde dalga hareketi için geçerli bir kural değildir. Gerçek bir dalga hareketinde titreşimler her doğrultuda meydana gelirler. Çizimler, okuyucuya titreşim ve yayılma hakkında bir fikir vermesi için basitleştirilmiştir. Deniz dalgalarını anlamak için genlik, dalga boyu, frekans, girişim, polarizasyon gibi, günlük yaşantımızda karşılaştığımız fakat ne olduğunu bilmediğimiz basit fiziksel kavramlar ile tanışmak gerekir. Şimdi sadece şekiller ile işin içerisine matematik sokmadan, dalgaları betimleyeceğiz.

Dalga genliği

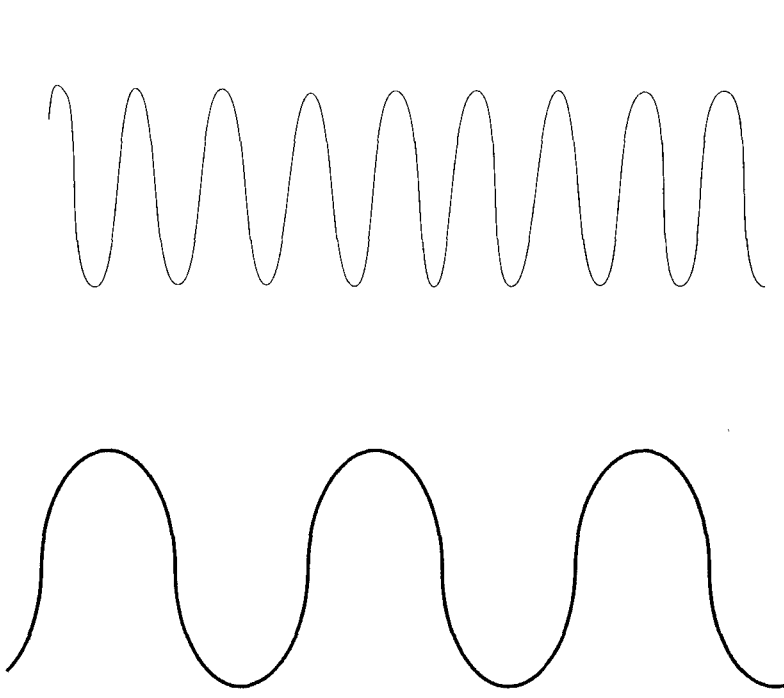
Dalga genliği, bir dalga hareketinde denge konumundan olan uzaklığı ifade eder. Şekil 4'de genlik gösterilmiştir.



Şekil 4: *Dalga genlikleri.*

Bir dalganın genliği taşıdığı enerjinin ölçüsüdür. Örneğin Karadeniz'de dalgalar deniz yüzeyinden 7-8 metre kadar yükselir. Yani genlikleri yedi sekiz metre boyundadır. Taşıdığı enerji büyük-

tür. Dolayısıyla Karadeniz'de yüzmek dikkat ve ustalık ister. Deniz dibi depremlerinin yaşattığı dalgaların genliği köyleri şehirleri yutacak kadar büyüktür. Yakın geçmişte Japonya'da tsunami olayına şahit olduk. Taşküre hareketlerinden kaynaklanan bu olayın karşı konulamaz büyüklükte enerji taşıdığını televizyon ekranları odamıza kadar getirmiştir. Bir dalganın genliği ve taşıdığı enerji arasında doğru orantılı bir bağıntı vardır. Olay çok açıktır: genlik ne kadar büyükse veya küçükse dalganın taşıdığı enerji o kadar büyük veya küçüktür. Dolayısıyla genlik dalgaların taşıdığı enerjiyi ölçen bir fiziksel büyüklüktür. Bunu aklınızdan çıkarmayın. Kuantum fiziği dalgaların bu özelliğinden çok yararlanır



Şekil 5: *Dalga boyu.*

Art arda gelen iki dalga arasındaki uzaklıktır. Sakin havalarda deniz yüzeyi durgun olur, bu durumda dalga boyu fark edilmeyecek kadar uzundur. Çırpıntılı denizlerde ise kıyıdan dalga boyunu fark etmek mümkündür.

Frekans

Bir dalganın sıklık ölçüsüdür. Birim zamanda bir noktadan geçen dalga sayısını verir.

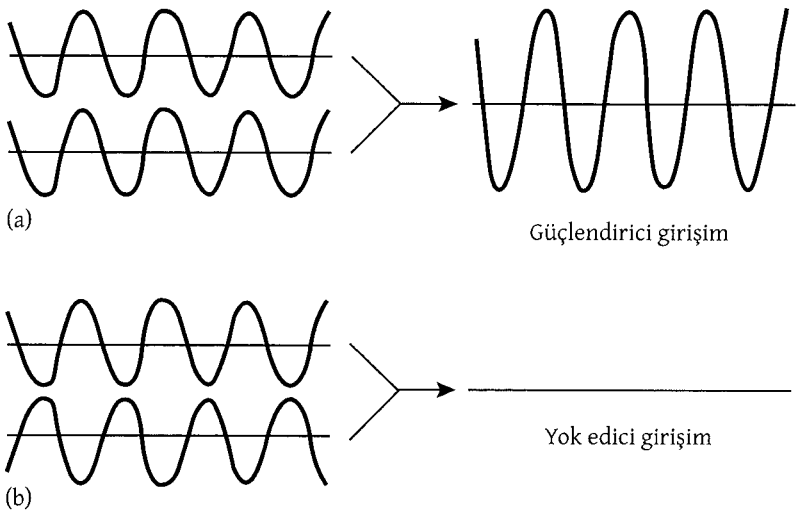
Dalga hareketini, yukarda resimlerle açıklamaya çalıştığımız genlik, dalga boyu ve frekans gibi fiziksel büyüklükler karakterize eder. Şimdi kuantum gerçeğini anlama yolunda çok önemli bir rol oynayan dalgaların girişimi incelenecektir. Girişim dalgaların üst üste gelmesine verilen isimdir. Birçok kere belirttiğimiz gibi amacımız fizik dersi vermek değil gerçeğe giden yolları basit şekiller ile açıklamaktır.

Girişim

İki veya daha çok sayıda dalganın üst üste binmesi ile meydana gelen olaya girişim denir. Tek başına bir dalga ancak ip üzerinde göstericilerin oluşturdukları dalgadır. Doğada böyle basit dalgalara rastlanmaz. Yükseklerde dalgalanan bir bayrağa baktığınızda, bayrağa hareketini veren titreşimlerin ne kadar çeşitli olduğunu hemen anlarsınız. Bu nedenle dalgaların girişimi doğa olaylarını anlamada, özellikle kuantum fiziğinin gizemli özelliklerini anlamada, önemli bir rol oynar.

Güçlendirici girişim

Aynı frekansta ve titreşen iki dalga hareketi üst üste geldiğinde genlikleri aynı anda ve aynı konumda birbirine eklenerek daha büyük genlikli bir dalga hareketi oluşturur. Buna güçlendirici girişim denir. Şekil 6'da bu durum gösterilmiştir.



Şekil 6: *Güçlendirici girişim ve Yok edici girişim*

Şekil 6(a)'da her iki dalganın genliği aynı anda yükselmekte ve aynı anda alçalmaktadır, yani ayni fazdadırlar. Bu şartların sağlandığı iki dalga güçlendirici girişim yapar. Kuantum fiziğini anlamak bir yerde bu olayı anlamaya bağlıdır. Üst üste gelen dalgaların genlikleri eşit olduğunda, şekilde olduğu gibi, toplam dalganın genliği üst üste gelen dalgaların genliğinin iki kat büyüklüğünde olur.

Yok edici girişim

Üst üste binen iki dalga hareketinde genliklerin aynı anda ters konumda titreşmesi ile meydana gelir. Şekil 6 (b)'de yok edici girişim canlandırılmıştır.

Bir dalganın genliği yükselirken diğer dalganın genliği alçalmaktadır. Genlikler ile taşınan enerji bu durumda birbirini yok eder ve dalga hareketi susar. Girişen dalgalar arasındaki yüz seksen derecelik bir faz farkı vardır. Eşitliğin sağ tarafındaki doğru, ortamda artık bir dalga hareketinin olmadığını gösterir. Yani ortam enerji taşımaz. Dalgaların genel karakteri ile kuantum fiziğinin olaylara yaptığı açıklamalar arasında yakın bir ilişki ve mantık örtüşmesi vardır. Burada amaç çok kere tekrarladığım gibi fizik dersi vermek değil, sizi gerçeğin peşine takmaktır.

Bu basit çizimler karmaşık gibi görünen olayları açıklamakta sanki sihirli bir güce sahip gibidirler.

Günlük yaşantımızda sıkça karşılaştığımız olaylar ile dalga hareketini daha yakından anlamak mümkündür.

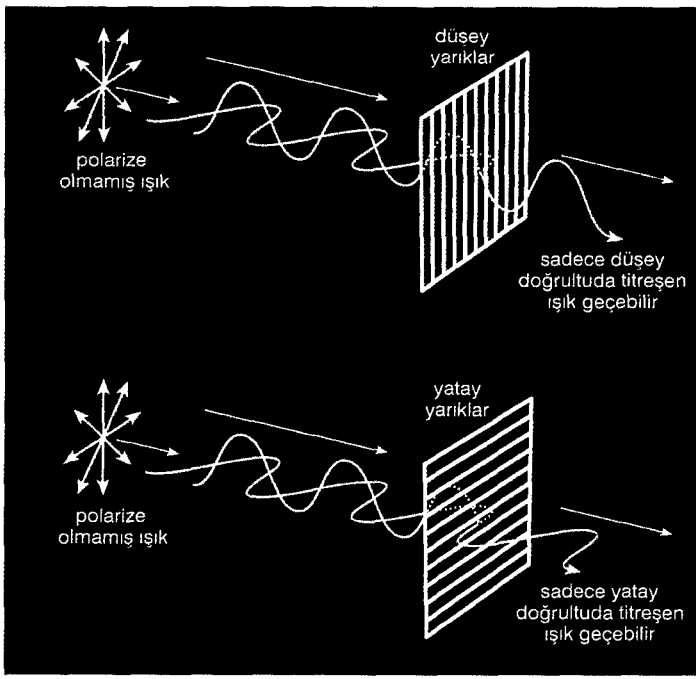
Cep telefonlarına sesi, televizyon ekranına rengi ve hareketi elektromanyetik dalgalar taşır.

Görülen ve görülmeyen tüm ışımalar elektromanyetik dalgalardır. Titreşip dalga hareketi yapan elektrik ve manyetik alan şiddetidir. Dalga boyu 400 ve 700 mikron arasındaki ışınımlar, görünür ışık bandını oluştururlar. İnsan gözü dalga boyu bu aralıkta değişen ışınımlara hassastır, yani onları görür. 700 mikron kırmızıya 400 mikron mor renge tekabül eder. Diğer renkler bu dalga boyu aralıkta yer alır. Işınımların dalga boyu büyüdükçe sırasıyla kırmızı ötesi bölgeye daha da büyüdükçe radyo ve radar dalgaları bölgesine girilir. Bu bölgedeki elektromanyetik dalgalara insan gözü hassas değildir. Yani insan gözü bu dalgaları göremez. Ancak radyo, telsiz ve radar gibi cihazlarla bu dalgalar sese dönüştürülür. Sesin de bir enerji olduğunu unutmayın. Bunların tümü iletişim bandını oluşturur. Dalga boyu küçüldükçe doğal olarak frekans büyür frekans büyüdükçe sırasıyla "mor ötesi", "x" ve "gamma" ışınım bölgesine girilir. İnsan gözü bu bölgedeki ışınımlara da hassas değildir, yani onları da görmez. Elektromanyetik dalgaların ilginç bir özelliği vardır. (Frekans büyüdükçe) Dalga madde ile etkileştiğinde yani maddenin üzerine düştüğünde dalga bir parçacık gibi davranır. Daha doğrusu madde dalgayı bir parçacık gibi görür. Gamma veya x-ışınları maddeye çarptığında onda bir parçacık etkisi yapar. Fotoğrafçılıkta kullanılan cıva lambalarının yaydığı ışık, görünür bölgenin en yüksek frekanslı ışınımlarıdır. Bu lambalardan gözünüze düşen ışık sizde parçacık etkisi yaptığı için gözünüz kamaşır. Işığı sanki gözünüze bir şey çarpmış gibi algılarsınız. Düşük frekanslı ışınımlarda yani iletişim bandı ışımaları böyle bir özellik taşımaz. Işığın, parçacık etkisi yapan enerji paketine *Foton* denir. Elektromanyetik dalgaları su dalgası gibi mekanik kökenli dalgalardan ayıran en önemli özellik bu dalgaların yayılmak için bir ortama gereksinim duymamalarıdır.

Polarizasyon

(a) Dalga her yönde titreşmektedir.

(b) Her yönde titreşen dalga kafesten geçtikten sonra yalnız düşey doğrultuda titreşir. Başka bir deyişle dalga düşey doğrultuda polarize olmuştur. Dalganın ilerleme doğrultusuna dik olarak yerleştirilen kafes sadece düşey doğrultuda titreşimlere geçit vermiştir.



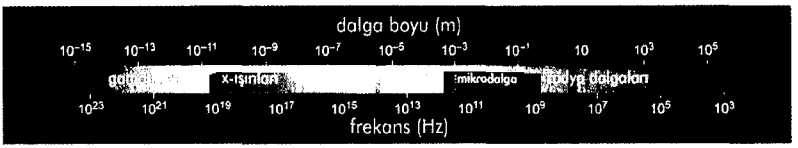
Şekil 7: *Polarize olmamış bir ışık (sol) farklı yönlerdeki düzlemlerde titreşen dalgalar içerir. Polarize dalga ise sadece tek bir düzlemde titreşir (düşey veya yatay). Bir ışık ışınının polarizasyon durumu, dalgaların arasından geçebileceği ızgara şeklinde düzenekler ile saptanır. Düzeneğin üzerine düşen ışık ışınlarından sadece ızgara aralıklarının tanımladığı düzleme paralel olanları seçer.*

Işınımlar daha özel olarak elektromanyetik dalgalar ilerleme yönüne dik her eksen boyunca titreşen manyetik ve elektrik alan şiddetinin bit toplamıdır. Güneşe baktığınızda her yönde titreşen ışınımları görürüsünüz. Şekil 7'de bu durum gösterilmektedir. Çeşitli düzenekler ile titreşimler tek bir doğrultuya iz düşürülür. Şekilde ışığı polarize eden düzenek gösterilmektedir. Örneğin cam ben-

zeri bir yüzeye düşüp yansıyan ışınlar artık yansıdıkları düzlemden başka düzlemlerde titreşmezler. Bu olaya ışığın polarizasyonu denir. Şekil 7'nin üstteki çiziminde göz sadece düşey, alttaki çiziminde yatay eksen üzerinde titreşen ışık dalgasını görmektedir. Kaynak ise her yönde titreşen dalga yaymaktadır. İpi bir ucundan tutup aşağı yukarı titreştirdiğinizde oluşan dalganın taşıdığı enerji, aşağı yukarı hareketi ne kadar sık aralıklar ile yapabilirseniz o sıklıkla yani frekans ile orantılı olarak artar. Buradan anlaşılacağı gibi frekans bir dalganın taşıdığı enerji ile doğru orantılı bir büyüklüktür. Frekans artıkça taşınan enerji artar.

Elektromanyetik dalgalar

Işık, lise fizik derslerinde öğretildiği gibi bir dalga hareketidir. Dalgaların tüm özelliklerini içerir; dalga boyu, frekans ve genlik ile belirlenir, girişim yapar. Elektromanyetik dalgalar elektrik ve manyetik alan şiddetlerinin titreşimleri meydana getirir. Çok geniş bir frekans aralığında ışıma yapan elektromanyetik dalgalarla günlük yaşantımızda farkında olmadan iç içe yaşarız.



Şekil 8: *Elektromanyetik ışıma spektrumu.*

Şekil 8'de, bu olgu hem dalga boyuna hem de frekansa bağlı olarak elektromanyetik dalga spektrumu olarak gösterilmiştir. İnsan gözü, güneşten kaynaklanan ışımaların sadece görünür bölgesine duyarlıdır. Şekil 8'de, bu bölge kırmızı ve mor arasında gösterilmiştir. Görünür ışığın bir elektromanyetik dalga olduğunun farkında olmadan çevremizle ilişki kurarız. Esasında bunun farkında olmamız da gerekmez. Herkesin mühendis veya fen adamı olmak gibi bir zorunluluğu yoktur. Gözlerimiz frekansları bu bölge içinde ka-

lan ışımaları renk olarak algılar. Şekil 8'de elektromanyetik spektrumunun ortasında görünen ışık bandı gösterilmiştir. Kırmızı ve mor arasında kalan renkleri görür daha yüksek ve daha düşük frekanstaki ışınımları göremeyiz. Dalga boyu çok uzun frekansı çok düşük bölgede, ışınımlar radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızıl ötesi dalgalar ve görünür bölge olarak sıralanır. Dalga boyları kilometre mertebesinden milimetreye kadar değişen dalgalar haberleşme sistemlerinde kullanılır. Radyo, radar, telsiz ve cep telefonu gibi aygıtlar dalgaların taşıdığı bilgiyi ses ve renge dönüştürürler. Bu dalgaları görmeyiz fakat var olduklarını biliriz. Örneğin cep telefonumuzda sesi kulağımıza getiren bu dalgalardır. Frekansları görünür bölgeden daha yüksek olanlar ise x-ışını ve gamma ışınlarıdır. Şekil 8'de bu bölge belirgin olarak gösterilmiştir. İnsan gözü ne x-ışınını ne de gamma ışını göremez. Frekans büyüdükçe dalganın taşıdığı enerji artar. Yüksek frekanslarda elektromanyetik dalgalar, maddeye çarptıklarında bir tanecik gibi davranırlar.

Elektromanyetik ışımalar frekansa bağlı olarak özellik değiştirirler. Yüksek frekanslarda parçacık düşük frekanslarda dalga gibi davranırlar. Bu olaya ışımaların düal yani ikili karakteri denir.

Enerji paketine genel olarak kuanta, özel olarak elektromanyetik dalgaların taşıdığı enerji kuantasına yani miktarına foton denir. Bunu daha önce görmüştük, tekrar etmekte yarar var.

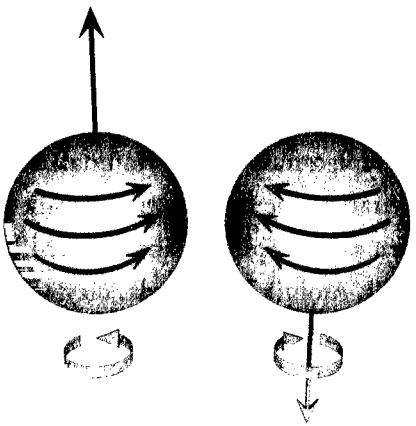
Evren, yani en çarpıcı gerçek; madde ve dalgalardan oluşan bir enerji sistemdir. Gördüğümüz algıladığımız her somut olay veya nesne farklı bir enerji formudur. Bu gerçeği palavra atmadan anlamanın yolu, dalga hareketini kaba hatları ile anlamadan geçer. İleride görüleceği gibi hareket hâlinde olan her maddeye bir dalga eşlik eder. Bu inanılması güç bir doğa olayıdır; gerçek kendisini dalga ile belli etmektedir.

Sizi, gerçeğin peşine takmamın nedeni, gerçeğin kendisini sadece akıllı insanlara göstermesidir. Kendi aklına güvenenler gerçeğin peşine takılırlar.

Kuantum fiziğine matematik penceresinden bakıldığında onun bir dalga mekaniği olduğu görülür. Elektromanyetik dalgalar üzerinde kısaca durmamızın nedeni dalgalar ve kuantum fiziği arasındaki özdeşliği anlamanız içindir. Yoksa elektromanyetik teori bir yıl sürecek bir ders konusudur. Burada amaç bilgiçlik taslamak değil, okuyucuyu ilerde göreceği kavramlara, doğru gözlükler ile bakmasını sağlamaktır. Umarım başarılı olurum.

Spin veya dönme

Spin veya Türkçesi dönme, kuantum fiziğini anlamak için öğrenilmesi gereken temel kavramlardan biridir. Kavramların kimi klasik fizik ile benzeşim kurarak açıklanır. Kendi geometrik ekseni etrafında dönme hareketi yapan bir topaç düşününüz. Topacın dönmesi soldan sağa veya sağdan sola olmak üzere iki seçeneklidir. Yerküre kendi ekseni etrafındaki dönme hareketi yapar. Yerkürenin aksi yönde dönmesi söz konusu değildir. Atomik boyutlarda temel parçacıklar Şekil 9'da gösterildiği gibi küre ile gösterilir. Bu hiçbir zaman parçacıkların küre olduğu anlamına gelmez. Sadece bu benzetme ile gözlenen fiziksel özelliklere anlamlı açıklama yapılır. Kuantum fiziği maddeyi meydana getiren temel parçacıkları bir nokta olarak kabullenmiştir. Geometrik olarak noktanın bir dönme hareketi yaptığı kabul edilebilir bir iddia değildir. Ancak böyle bir kabul altında gözlenen olaylar açıklanır, kurgulanan deneyler pozitif sonuç verir. Bu özelliğe spin veya dönme denir.



Şekil 9: *Spin ya da dönme hareketi.*

Gerçekten spin kuantum fiziğinin garip özelliklerinden biridir. Ancak gerek atom fiziğinde gerek nükleer fizikte gerekse temel parçacık fiziğinde, parçacıklara spin özelliği verildiğinde gözlenen olaylar açıklanabilir. Bu aşamada akla gelen soru şudur: Gariplik kuantum fiziğinde mi yoksa doğanın kendisinde midir? Bu soruya ilerleyen sayfalarda yanıt verilecektir. Bir noktanın geometri ekseni olabilir mi veya bir noktanın bir eksen etrafında dönmesi bir anlam taşır mı göreceğiz. İşte insanların aklını karıştıran bu garipliklerdir. Ancak maddeyi meydana getiren temel parçacıklar bir nokta ile modellenmiş olmasına rağmen, dönen bir topaç gibi davranır. Olay aklın alamayacağı kadar garip ama gerçektir. Örneğin bir elektronu veya bir atomu dönen bir top gibi görmek sadece garipliği anlaşılır hale getirmek için yapılır.

Atomik boyutlarda temel parçacıklar dönme hareketi yapmasalar bile, klasik fizikte dönme hareketi yapan bir kürenin özelliklerine sahiptir. Atomik boyutlarda, elektron bir nokta parçacık olarak modellenir. Bir nokta parçacık, örneğin elektron, varsayılan simetri ekseni etrafında sağdan sola veya soldan sağa dönebilir; her iki yönde farklı fiziksel durumlara karşı gelir. Bir temel parçacığın spini bu fiziksel durumun ifadesidir, yani sağdan sola mı yoksa soldan sağa mı dönüyor olmasının bilgisini verir. Atomik ve atomaltı boyutlarda parçacıkların spini yani kendi eksenleri etrafında dönme hareketi yapıyormuş gibi davranmaları, kuantum fiziğini klasik fizikten ayıran bir uç davranıştır. Atomik boyutlarda doğa gizemlerini bizden saklar. Spin doğanın gösterdiği garip özelliklerinden sadece biridir. Atomik boyutlarda, olaylara klasik fizik gözlükleri ile bakmaya devam ederseniz çıkmaz sokağa girersiniz. Gerek atom fiziği gerek nükleer fizik gerekse temel parçacık fiziğinde gözlenen olaylar parçacıkların spin yani dönme özelliği ile açıklanır. Doğa, elektrona çok küçük boyutlarda olmasına rağmen negatif elektrik yüklü bir küre özelliği vermiştir. Gerçekten mikro kozmos, taneciklere dönme hareketi yapacak durumda olmamalarına rağmen dönme yapıyormuş

gibi davranmalarını dikte etmiştir. Yukarıda açıklandığı gibi klasik olarak nokta parçacığın ne ekseni vardır ne de kendisinden başka bir noktası; nasıl dönme yapabilir ki? Nokta hacmi sıfır olan geometrik bir limittir. Sıfır hacimli bir nesnenin dönüyor olması tasavvur edilemez. İşin garip tarafı gerçekten dönüyormuş gibi davranmasıdır.

Doğa, atomik boyutlarda gerçekten çılgınlaşır. Yapılacak iş, spin örneğinde olduğu gibi, aklınızın sesine uyarak bu boyutlarda tanrının ne dediğini duyabilmektir; üfleyince toprağa can geldi gibi masallarına inanmak değil. Kuantum fiziği gerçek üstü bir resim gibidir, onu anlayabilmek bir ayrıcalıktır. Çok kişi Picasso'nun resimlerine bakarak "Ne olacak bunu ben de yapabilirim demiştir" ancak çok sayıdaki iddialı Picasso'lar hâlâ birer meçhuldürler.

Bu aşamada akla gelen soru şudur: *Gariplik kuantum fiziğinde mi yoksa doğanın kendisinde midir?*

Bu soruya ilerleyen sayfalarda yanıt verilecektir. Bir noktanın geometri ekseni olabilir mi? Veya bir noktanın kendi geometri ekseni etrafında dönmesi bir anlam taşır mı? Doğanın gizemlerini çözmede insan aklının nasıl bir rol üstlendiği bilimsel buluşlarda kendini belli eder. Önemli olan değerini ilerde göreceğiz, gerçekten günlük yaşantımızda karşılaştığımız basit olayları da aklımız ile değerlendiriyor olabilmemizdir. Bir noktanın bir eksen etrafında dönebileceğini düşünebilmek aklın yaratıcılığının kanıtıdır.

3
Doğanın İnsanı Şok Eden Gizemleri

Aklını üniversite giriş sınavlarında bırakmamış bir lise öğrencisi, Newton denklemlerini kullanarak, başlangıç şartları verilmiş her türlü hareket problemini çözebilir. Gazların genel denklemi basınç, hacim ve sıcaklık arasındaki tüm ilişkileri verir. Geometrik veya fiziksel optiğin tabi olduğu kanunlar bellidir. Göz doktorları hiçbir zaman size yanlış gözlük vermezler; nedeni optik yasalarını ve göz fizyolojisini bilmeleridir. Akım şiddeti, direnç ve gerilim arasındaki ilişkileri veren elektrik ve manyetizma kanunları ile her türlü elektrik problemi çözülür. Elektrik ile çalışan çeşitli ev aletleri ve cihazlar yapılır. Burada anlatmak istediğimiz klasik fizik kanunlarının günlük yaşantımızda, karşılaştığımız olayları açıklamış olmasıdır. Çevremizde gördüğümüz ve bize kolaylıklar sağlayan tüm aletler, televizyon, radyo, telefon, uçak, otomobil, tren, içinde barındığımız ev, oturduğumuz koltuk, musluktan akan su, düğmeye bastığımızda odamızı aydınlatan elektrik ve bunun gibi aklınıza gelecek her şey, klasik fizik kanunlarına göre yapılmıştır. İnsanlık bu kanunları keşfetmemiş olsaydı yaşam kalitemiz bu günkü düzeyde olmazdı. Bilim, uygarlık tarihinin baş aktörüdür. Bu sahnede oynanan oyunlara ilgisiz kalmayın.

Matematik, doğa olaylarının analizlerine olduğu kadar toplumsal olayların analizlerine de anlam kazandıran bir dildir. Nüfusun %5'i milli gelirin %75'ini, nüfusun %95'i de geri kalan zenginliğin %25'ini paylaşıyor dediğimizde, servet dağılımındaki adaletsizliği matematik bir dil ile ifade etmiş oluruz. Matematiği kullanmayan bir ekonomi veya siyaset düşünülemez. Bu dili öğrenince evrenin ve sosyal yaşamın dinamiklerini anlamaya başlarsınız. Hiç ilgisi yokmuş gibi görünen hukuk bile adaleti sağlamak için matematiksel mantık kullanır.

Acaba evreni yaratan tanrı aynı zamanda bir matematikçi midir? Önce matematiği öğrenin sonrada beni anlayın diye mi insanı akıllı yaratmıştır. Aklın insana verili oluşunun nedeni belki de budur. Ben bunun böyle olduğuna inanıyorum. Gerçeğin peşinde koşarken tanrı elinize pusula olarak matematiği vermiştir; gerçekten de öyledir. Sizde benim gibi düşünüyorsanız, şimdi aklınıza şu soruların gelmesi gerekir: *Kuantum fiziği nasıl bir matematik ile temsil edilir? Kuantum fiziğinin denklemleri nedir?*

Kuantum fiziği doğa gerçeklerini nasıl bir matematik ile ifade eder?

Bu sorunun yanıtı hiç de karmaşık değildir; aklını kullanan her insan anlayabilir. Burada da yine matematiğin teknik ayrıntılarına girmeden kuantum fiziğinin dayandığı matematiği genel hatları ile aktarmaya çalışacağız. Önemli olan doğa olaylarını aklın süzgecinden geçirmektir. Bu çağda herkes etrafında olup bitenlerden haberdardır. Haberdar olamayanlar da vardır. Bu kitap haberdar olanlar içindir.

Radyo dinlerken veya cep telefonları ile konuşurken veya televizyon izlerken kulağımıza ve gözümüze bilgiyi hareket, ses ve renk olarak elektromanyetik dalgaların taşıdığını biliriz. Alıcımızı örneğin FM bandında 88-108 MHZ; AM bandında 540-1600 KHZ aralığında istediğiniz bir frekansa ayarlayarak istediğiniz programı dinleyebilirsiniz. Size Sezen Aksu'nun sesini veya Arif Sağ'ın sazını bu dalgalar getirir. Tekniğini derinden bilmeseniz bile işin içinde elektromanyetik dalgaların bulunduğu hakkında bir seziniz vardır. Verdiğimiz şekilde (Bkz. sayfa 61, şekil 8) elektromanyetik dalgaların özellikleri özetlenmiştir. Elektromanyetik dalgalardan haberleşme ve görüntüleme bağlamında nasıl bir teknik ile yararlandığınızı bilmenize gerek yok, kulağınıza dayadığınız cep telefonundan gelen ses, televizyon ekranında izlediğimiz Messi'nin attığı gol de bir gerçek. Bunu bilin yeter.

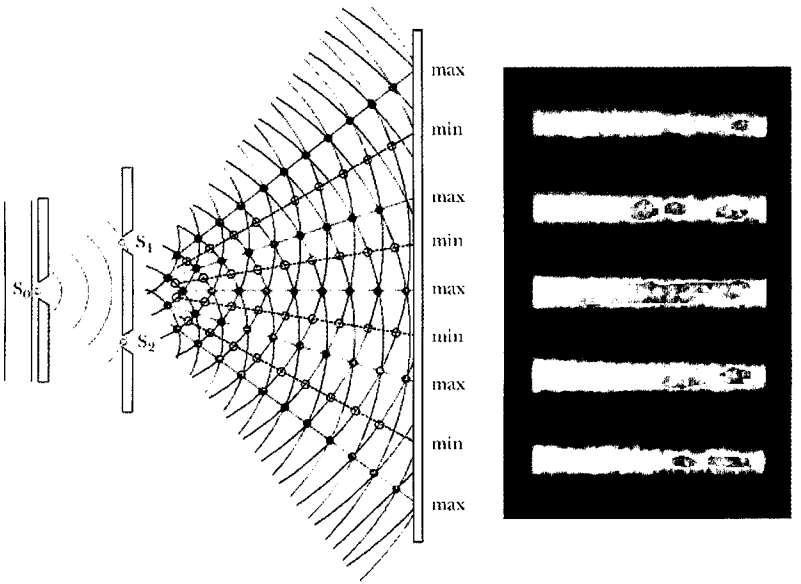
Evren, dalga ve maddeden oluşan bir bilgi okyanusudur. Nasıl elektromanyetik dalgalar bilgiyi cep telefonlarına ve televizyon ekranına görüntü ve ses olarak getiriyorlarsa evrenin gerçeklerini de insanın anlayış sınırına aynı dalgalar getirir. Kuantum fiziği bilgi okyanusundan kaynaklanan dalgalara anlam verir. Bu nedenle evreni anlamanın, yani gerçeğe yaklaşmanın, yolu dalgaları ve kuantum fiziğini anlamaktan geçer.

Işınımın frekansı artıkça, yani dalga boyu küçüldükçe taşıdığı enerji çok küçük bir hacim içine sıkışır. Bu hacim içine sıkışan ışıma taneciklerine foton denir. Bu tanımı daha önce görmüştük, ilerde de sık sık karşılaşacağız. Nasıl bir bardak su içindeki molekülleri göremiyorsak ışık demeti içindeki, o demeti oluşturan tanecikleri, yani kuantaları yani fotonları da göremeyiz. Kısa dalga boylu x ve gamma-ışınları madde üzerine düştüğünde, madde onları bir parçacıkmış gibi algılar. Bu özelliklerinden yararlanılarak x-ışını görüntüleme sistemleri yapılmıştır. Kemik dokusu, kas dokudan daha yoğun olduğundan x-ışını enerjisini daha yüksek miktarlarda soğurur, yani ışık tanecikleri kemik dokuya daha çok çarparak enerjilerini ona aktarır, filmde kemik doku bu soğurma nedeni ile belirgin bir şekilde görüntülenir. Kas dokudan ise gelip geçer soğurma az olur. Kemiğiniz kırıldı ise kırık koyu, sağlam kemik dokusu açık renk gözükür. Bir x-ışını filminde görüntü bu mantık ile değerlendirilir. Günlük yaşantımızda sıkça karşılaştığımız x-ışını filmi çektirme olayı bu ışınların, sokaktaki insan farkında olmasa bile, parçacık karakterinde olduğunu gösterir. Sayfa 61'de verilen şekil dalga boyuna bağlı olarak ışığın bu ikili karakterini anlatır.

Young çift yarık deneyi

Bu deneyde ekrana yansıyan desen, kuantum fiziğine anlam kazandırmıştır. Esasında ikinci bölümde çizimler ile anlattığımız girişim olayının bir yorumundan başka bir şey de değildir. Işık ancak dalga özellikleri taşıyorsa böyle bir desen verir. Ekrana yansıyan ka-

ranlık aydınlık saçaklar da ışığın bir dalga hareketi olduğunu kesin olarak kanıtlamıştır. Üzerinde ince bir çift yarık bulunan yüzey üzerine, şekilde gösterildiği gibi, lambadan yayılan ışık tutulur. Bu basit deney ışığın ve genelde dalga hareketinin doğasını anlama bağlamında, insanlığın bilgi stokuna çok önemli katkı yapmıştır. Deneyi karanlık bir odada basit bir lazer lambası ile sizde yapabilirsiniz. Ekran üzerine çift yarığın parlak gölgesi beklenirken ortaya şekil de gösterilen bir desen elde edersiniz. Duvarı ekran olarak kullanabilirsiniz.



Şekil 10: *Young çift yarık deneyi.*

Aynı kaynaktan çıkan ışığın yarıklardan geçip ekranda birbiri ardına dizilen parlak ve karanlık saçaklar oluşturması nasıl açıklanabilir? Doğal olarak ilk akla gelen, ekran üzerindeki parlak bölgelere enerjinin maksimum, karanlık bölgelere minimum değerde taşındığıdır. Dalgaların üst üste binmesi ile oluşan toplam dalganın genliğinin, kuvvetlendirici girişim yaptığında büyüdüğü yok edici girişim yaptığında sıfırladığı, önceki bölümdeki çizimler ile açıklanmıştır. Şekil 10'da dalgaların tepe noktaları sarı doğru ile işaretlenmiş-

tir. Girişim yapan iki dalganın tepe noktaları üst üste binerse toplam dalganın genliği, girişim yapan iki dalganın genliklerinin toplamıma eşit olur. Tepe noktası ile karın noktası üst üste binerse toplam dalganın genliği iki dalganın genliklerinin farkına eşit olur. Tepe noktaları üst üste binen iki dalganın genlikleri eşitse toplam dalganın genliği tek bir dalganın genliğinin iki katı, tepe ve karın noktaları üst üste binerse toplam dalganın genliği sıfır olur.

Dalgaların genel girişim özelliği ışık dalgaları için de geçerlidir. Aksini düşünmek ya da hayır geçerli değildir demek için hiçbir neden yoktur. Dolayısıyla ekran üzerinde gördüğümüz parlak saçaklar genliklerinin üst üste bindiği toplam dalganın maksimim enerjiyi taşıdığı bölgeler, karanlık saçaklar ise tepe ve karın noktalarının üst üste binerek toplam dalganın minimum enerjiyi taşıdığı bölgelerdir. Girişim olayı ikinci bölümde Şekil 6'daki çizimler ile açıklanmıştır. Anımsamak için girişim olayını açıklayan şekillere tekrar bakınız. Ekranda gözlenen saçaklı desen, daha önce de belirttiğimiz gibi, ışığın bir dalga hareketi olduğunu kanıtlar. Bu deney ve sonucu, kuantum mekaniğinin teorik alt yapısının kurgulanmasında çok önemli bir adım olmuştur. Şekil 10'da girişen veya üst üste binen dalgaların ekran üzerinde enerjiyi nasıl maksimum veya minimum yaptığı gösterilmiştir.

Yarıklardan geçen ışık demetini oluşturan fotonların her biri ekran üzerinde gidecekleri yeri adeta kendiliğinden bilmektedirler. Durum su dalgalarında da aynen böyle gelişir. Bir su dalgası yüzey üzerine yerleştirilmiş ve dalga boyuna göre küçük iki yarıktan geçtikten sonra su yüzeyinde ışık dalgalarının ekranda oluşturdukları desene benzer desenler oluştururlar. Dolayısıyla su dalgalarını oluşturan her bir su molekülü bu karmaşık olay meydana gelirken sanki hangi konumda bulunacağını kendiliğinden biliyor gibidir. Işık girişiminde çift yarık üzerine düşürülen ışığın şiddetini giderek azalttığımızı düşünelim. Ekrandaki desenin geometrisinde hiçbir değişiklik olmaz, ancak aydınlık saçakların parlaklığı azalır. Teknik olarak ışık şiddetini azaltıp fotonları tek tek göndermek mümkün olmasa

dahi böyle bir durumu tasarlayarak yorum yapmak mümkün olur. Şiddet düşürüldüğünde (foton sayısı azaltıldığında) fotonlar az sayıda olsalar dahi yine parlak bölgelere gitmektedirler. Limitte tek bir fotonun gönderildiğini düşünelim foton hangi yarıktan geçerse geçsin kendiliğinden ekran üzerinde nereye gideceğini bilmektedir. Bu çok ilginç bir sonuçtur ve ilginç bir yorumdur.

Fotona gideceği yeri kim söylemektedir?

İşte size aklınızı karıştıracak bir soru. Boyutlar küçüldükçe (çift yarık deneyinde kullanılan ışığın dalga boyu mertebesine düşünce) doğa, makroskopik evrende geçerli mantık ile açıklanamayan garipliklere bürünür. Olaya makroskopik gözlüklerle bakıldığında her bir fotonun yarıklardan birinden geçip ekran üzerinde kendiliğinden -nasıl oluyorsa- bildiği konuma düşüp çift yarık deseni yarattığı şeklinde bir açıklama yapılır. Yarıklardan biri kapatılarak deney tekrar edildiğinde ortaya çok daha garip bir olay çıkar. Fotonlar bir top gibi yuvarlanıp açık yarıktan geçip ekranda tek bir parlak saçak oluşturur. Esasında bunun garip bir tarafı yoktur. Ekranda oluşan parlak saçağın nedenini bir lise öğrencisi bile açıklayabilir. Ancak ikinci yarık açıldığında yarıkların üzerine düşen her foton hangi yarıktan geçiyor olursa olsun diğer yarığın açık olduğunu kendiliğinden bilmektedir. Bildiğinin kanıtı ise ekran üzerinde iki parlak saçak değil çok sayıda parlak saçağın olmasıdır. Şimdi önünüzde doğanın bizi şaşırtan bir gizemi var:

Yarıkların bulunduğu yüzey üzerine düşen ışık demetini oluşturan fotonlar nasıl oluyor da diğer yarığın kapalı mı açık mı olduğunu biliyor?

Yarık tek ise tek ekranda tek bir parlak saçak oluşuyor yarık çift ise bir girişim deseni oluşuyor.

Fotonların kulaklarına yarıkların tek mi çift mi olduğunu kim söylüyor?

Kuantum işte bu karmaşık sorulara her kesin anlayabileceği basit açıklamalar getiriyor. Işık bir dalga hareketi olduğuna göre girişim yapması kadar doğal bir şey olamaz. Burada ilginç olan ışıma enerjisini taşıyan taneciklerin yani fotonların dinamiğini dalgaların belirlemiş olmasıdır. Yani bir taneciğin dinamiğini yani gideceği yeri bir dalga belirliyor. Fotondan farklı olarak maddesel bir parçacık olan elektron demetinin de çift yarık deneyinde olduğu gibi aynı girişim deseni vermesi; yani girişim yapması kuantum fiziğine şüphe ile bakanların aklını çelmiş bu garip teoriyi yeniden daha ayrıntılı düşünmelerine neden olmuştur.

Elektromanyetik ışımaların ikili karakteri

Işığın veya daha genel anlamda elektromanyetik dalgaların aynı zamanda tanecik karakterinde oluşu kuantum fiziğinin kavramsal gelişmesine kaynaklık etmiştir. Bu özellik sayfa 60-61'de hem açıklanmış hem de bir şekil ile gösterilmiştir. x ve gamma ışınlarının dalga boyları küçüktür, bunun anlamı dalganın taşıdığı enerjinin daha küçük bir hacim içine sıkışmasıdır. Yani dalga boyu küçüldükçe elektromanyetik dalga bir taneciğe dönüşür ve tanecik gibi davranır. Bu özelliğinden yararlanılarak kanserli hastalara ışın tedavisi uygulanır. Kanserli bölge ne kadar küçük olursa olsun, gamma ışınları bu bölgeye taşıdıkları enerji ile bu istenmeyen dokuyu yakar. Dalga boyu büyüdükçe ışınım dalga karakteri kazanır. Önce mordan kırmızıya kadar uzanan görünür bant, daha da büyüyünce haberleşme bantları ortaya çıkar. Radyo, radar, telsiz, televizyon dalgaları tanecik değil dalga gibi hareket ederler ve bilgiyi ses, görüntü ve renk olarak bir noktadan diğerine taşırlar. Işımalar dalga boyu küçülünce parçacık, büyüyünce dalga gibi davranırlar. Kuantum mekaniğinin ortaya koyduğu şaşırtıcı doğa gerçeklerinden biri de budur. Günlük yaşantımıza böylesine girmiş bu kuantum olayına yabancı kalmak mümkün değildir.

Buna ışığın düal veya ikili karakteri denir. Işık çifte karakteri ile sadece yolumuzu değil kafamızı da aydınlatır.

Işığın dalga boyu küçüldükçe parçacık, büyüdükçe dalga gibi davrandığını günlük hayatımıza giren olaylar ile yaşamaktayız. Radyo dinlerken sesi kulağımıza bir dalganın getirdiğinin farkında olmayız. Hatta böyle bir olguyu düşünme gereğini dahi duymayız. Ancak bizim olayları bilip bilmememiz gerçeği değiştirmez. Şimdi son günlerin moda deyimi ile şeytanın avukatlığına soyunalım. Işınım nasıl bir enerji ise madde yani kütle de bir enerjidir. Enerji ışınım şeklinde olduğunda çift karakter sergilerken acaba kütle içeren yani maddesel olan parçacıklar da benzer karakter sergiler mi? İşte aklın gücü buradadır. Önemli olan dünyanın gidişatını değiştiren böyle bir soruyu sorabilmektir. Hiç kimse sizden böylesine derin bir soru sormanızı beklemez ancak suskun olmanızda istenmez. Soru sormasını bilmeyenler, önemli veya önemsiz, kusura bakmasınlar, kendilerini içinde yaşadığımız yüzyılın şartlarına göre yetiştiremeyenlerdir. Olayların nedenlerini öğrenemezler. Nedensiz yaşayanlar aklına nefes aldırmayanlar, tanrının soluğunu duymayanlardır.

Bu gerçekten çok derinliği olan bir sorudur. Kuantum fiziğini anlamak bu sorunun yanıtını anlamaya bağlıdır.

Kuantum sözcüğünün sihrine kapılarak palavra atmak kolaydır da bunu anlamak için çaba sarf etmek düşüncede derinlik ister. Bu kitap okuyucusunu bu derinliğe taşımak için yazılmıştır. Sorunun yanıtı ne kadar derinde olursa olsun insan aklının anlayış sınırlar içindedir. Aklınıza güveniniz.

Maddeyi oluşturan daha küçüğüne bölünemeyen temel parçacıklardan biri de elektrondur. Şimdi elektronu göz önüne alalım: Elektron, kütlesi ve elektrik yükü ölçülebilen bir temel parçacıktır. Yani elimize alamasak, dokunamasak, göremesek bile madde içerdiğini biliriz. Kaç gram geldiğini tartabiliriz ne kadar elektrik yükü taşıdığını ölçebiliriz. Elektrik düğmesine bastığımızda odanın aydınlanması kadar gerçektir, zaten odayı aydınlatan da odur. Bir ışık

demetini, örneğin kırmızı ışık veren bir lazer demetini karanlık bir odada üzerinde ufak bir delik bulunan bir kartona yöneltiniz. Kartonun arkasında bulunan duvarda kabaca karton üzerindeki delik büyüklüğünde kırmızı ışık lekesi görürsünüz. Bu deneyi evinizde bir lazer işaret lambası ile yapabilirsiniz. Lazer lambası kitapçılarda satılır. Şimdi karton üzerine bir değil kabaca aynı büyüklükte birbirine çok yakın iki delik açın. Lazer demetini bu delikler üzerine yönelttiğinizde çok garip bir sonuç ile karşılaşırsınız. Duvarda her iki deliğe karşı gelen iki kırmızı leke yerine art arda sıralanmış aydınlatılmış ve aydınlatılmamış karanlık saçaklar görürsünüz. Çift yarık deneyi ve önemini önceleri çeşitli bağlamlarda gördük. Esasında iki yüz yıl önce yapılan bu deney ışığın dalga karakterinde olduğunu kanıtlamıştır. Lazer demeti ışık olduğuna, göre o da dalga hareketi yapar. Fiziksel optik kanunlarına uygun olarak meydana gelen bu olay matematiksel olarak eksiksiz ifade edilir. Işığın dalga boyu, ekran ve delikler arasındaki uzaklık ve delikler arası bilindiğinde nerde karanlık nerede aydınlık saçak oluşacağını optik kanunları verir. Bu olaya girişim dendiğini ve deney ışığın dalga hareketi olduğunu kanıtladığını belirtmiştik. Ayrıntılarını anlamanıza gerek yoktur. Bu bir fizik kitabı değildir. Burada önemli olan dalgalara modern fiziğin ne kadar anlam yüklediğini fark etmenizdir çünkü günlük yaşantımızda dalga hareketine fazla önem vermeyiz.

Louis De Broglie

Çift yarık deneyinde, bir enerji paketi olan fotonun, girişim yaparak parlak saçaklara maksimum, karanlık saçaklara ise minimum enerji taşıdığını gördük. Enerjinin maksimum olduğu yerler aydınlık, minimum olduğu yerler karanlık oluyor. Işık bir dalga hareketi olduğuna göre yani elektromanyetik dalga olduğuna göre girişen elektromanyetik dalgadır.

Elektron demetinin de, yani maddesel parçacıklardan oluşan bir demetin de, girişim yaptığını deneyler göstermiştir. Doğa, burada bizleri şaşırtmaktadır. Lazer demeti gibi dalga hareketi yapmadığı halde maddesel parçacıklardan oluşan bir demet nasıl girişim yapabilir. Bu olay doğanın insana, hadi bunu da açıkla da görelim diye sunduğu kutsal bir bilmece gibidir. Doğa, sanki insan aklı ile alay etmektedir. Doğa gerçekten gariplikleri ile insan aklına tuzaklar kurmaktadır. Işığın girişim yaptığını bile zor kavrayan insan şimdi gerçekten gizemli bir bilmeceye çözüm bulmak durumundadır. Demet içindeki elektronları hangi dalga yönlendirip gideceği yeri söylüyor. Lazer demetindeki fotonların nereye gideceğini elektromanyetik dalga belirliyor. Elektromanyetik dalgaları çok iyi tanıyoruz ve hakkında her şeyi biliyoruz. Buna karşın elektronlara kumanda eden dalga hakkında elimizde somut bir veri yok. Elektron demetinin nereye gideceğini nasıl bir dalga belirler? Kuantum fiziğinin kuruluş aşamasında karşılaştığı en zorlu soru budur. Bu sorunun yanıtı Louis De Broglie'den gelmiştir ve beraberinde fiziğe olasılık kavramını sokmuştur

Resim 9: *Louis de Broglie (1892-1987).*

De Broglie, elektronun hareketine bir dalganın eşlik ettiğini söyleyen diğer bir dâhidir. Bu şimdiye değin kimsenin ne olduğunu ne yaptığını bilmediği bir soyut dalgadır. Gerçekten böyle bir dalga mevcutsa mutlaka fiziki olaylarda kendini belli etmesi gerekir. Elektron gibi bir temel parçacığın, olasılık dalgasını veya olasılık fonksiyonunu tanımlamasını düşünmek olağanüstü bir soyutlamadır. Matematiğin gücü bu soyut içeriği ifade edebilmesidir. Özellikle matematiksel ifadenin gerçeğin bilgisini içermesi, soyutlamanın değerini artırır. De Broglie işte bu soyutlamayı yaparak kuantum fiziğine unutulmaz bir katkı yapmıştır. Tanrının nefesini duyan bir dâhidir.

De Broglie, maddesel bir parçacığa tekabül eden dalganın dalga boyu ve parçacığın enerjisi arasındaki bağıntıyı kurarak, gözlenen olayın matematiksel karşılığını bulmuş, olaya teorik bir açıklama getirilmiştir. Önemli olan, Broglie dalga boyunu veren matematiksel bağıntının gerçeği yansıtıp yansıtmadığının saptanmasıdır.

Clinton Davisson ve Lester Germer ikilisi deneysel olarak maddesel parçacıklara tekabül eden dalganın dalga boyu ve enerjisi arasında De Broglie'nin bulduğu bağıntının gerçeği yansıttığını deneysel olarak kanıtlamışlardır. Broglie bağıntısı aşağıda verilmiştir. Elbette De Broglie bu buluşuyla Nobel kazanmıştır. Fransa, bu akıllı evladı ile ne kadar gurur duysa azdır.

Dalga boyu = Planck sabiti / kütle x hız

$\lambda = h/m.v$

Lütfen bu formülden korkmayın. Bir sayının diğer bir sayıya, dördün beşe bölünmesi gibi basit bir matematiksel işlemdir. Burada, "h" Planck sabitini, "m" parçacığın kütlesini yani içerdiği madde miktarını, "v" hızını göstermektedir.

Dalga boyu, örneğin gözünüzde kolayca canlandırabileceğiniz su dalgalarında, dalganın en yüksek konumda olduğu art arda gelen iki nokta arasındaki uzunluktur. İkinci bölümde dalga boyu çizim ile anlatılmıştır. İlerde dalgaların kuantum fiziği bağlamında genel özellikleri çizimler ile açıklanacaktır. Sahilde deniz dalgalarını gözleyerek bunun ne anlama geldiğini kavramak çok kolaydır. Bir dalga kıyıya çarptığında ondan sonra gelen dalga kıyıya yakın bir konumda bulunur. Bu iki konum arasındaki uzaklık dalga boyu olarak tanımlanır. Dalganın genliği deniz yüzeyinden olan yüksekliğidir. Dalganın şiddetini belirler. Örneğin Karadeniz'de dalgalar çok yükseklere çıkar yani genlikleri büyüktür, yani taşıdıkları enerji büyüktür. Bunları tekrarladığım için bana kızmayın sadece kuantumu kavramak için dalgaların ne kadar önemli olduğunu belirtmek için yapıyorum. Frekans ise birim zaman içinde, örneğin bir saniyede kı-

yıya çarpan dalga sayısıdır. Bunlar kolayca anlaşılabilecek şeylerdir. Kafanız karışmasın.

Değerli dostum Akdeniz olimpiyatları üç adım şampiyonu mili atlet Akın Altınok "Makalelerini ve kitaplarını okurken formüllerle karşılaştığımda kafam karışıyor. Formüllere kadar her şeyi anlıyorum, formüller ile karşılaşınca moralim bozuluyor." diye beni uyarmıştı. Bu kitapta, onun uyarısını dikkate alarak, mümkün olduğunca formüllere başvurmadan kuantum fiziğini anlatmaya çalışıyorum. Umarım başarılı olurum. Şimdiye kadar fiziksel kavramlar ve bilimsel terminoloji ile düşünmediğiniz dalga hareketinin, günlük yaşantınızda karşılaştığınız dalga hareketi kadar basit olduğunu göreceksiniz. Bileceğiniz sadece dalga boyu, frekans ve genliktir. Bunlarda çok basit tanımlardır.

Maddesel parçacıklara bir dalganın eşlik etmesi fizikçileri daha derin düşünmeye sevk etmiştir. Şüphe edenler elektron mikroskopları yaşantımıza girince iddialarından vazgeçmişlerdir. Elektron demetini oluşturan dalgalara eşlik eden De Broglie dalgasının dalga boyu dokunun boyutuna düşünce optik mikroskoplar ile fark edilemeyen kanserli dokular görüntülenebilmiştir. Kuantum fiziği genel rölativite gibi tek bir bilim insanın başarısı değil, dönemin fizikçilerinin ortak başarısıdır. Çok sayıda saygın fizikçi kuantum fiziğinin gelişmesine ve kendini bir disiplin olarak kabul ettirmesine ciddi katkı sağlamıştır.

Kuantum fiziğinin insanı büyüleyen tarafı kavramsal olarak klasik fizikten farklı oluşudur. Nasıl Picasso veya Matisse tabloları Renoir veya Monet tablolarından farklı ise kuantum fiziği de klasik fizikten o derece farklıdır.

Bu fark düşünürlerin, sanatçıların, siyaset bilimcilerinin, filozofların, sosyologların ilgisini çeker. Bu ilgi kuantum mantığını bu alanlara taşımıştır. Klasik fizikten kavramsal olarak en önemli farkı o döneme kadar belirlemeci yani determinist olan bilime, probabilistik yani gerçeği olasılıkların çizdiği sınırlar içinde arayan bir çer-

Resim 10: *Luncheon of the Boating Party, Pierre-Auguste Renoir (1841-1919).*

Resim 11: *Banyo Yapan Avignon'lu Kızlar, Pablo Picasso (1881-1973). Genelde Fransız empresyonistlerinde yani dışavurumcu akımda ışık, gölge, derinlik, renklerin seçimi gerçek hayat ile örtüşür. Klasik ressamlar üç boyutlu dünyada yaşarlar. Picasso gibi kübik akım sanatçıları için ışık, gölge, derinlik, renklerin gerçek hayat ile örtüşmesi bir anlam taşımaz. Tablolarını iki boyutlu yani düzlem bir evrende yaparlar. Klasik sanatçılarda olduğu gibi algılar ile tablonun örtüşmesi önemli değildir. Kuantum fiziği gibi soyut bir dünyada gerçeklerini ararlar.*

çeve çizmesidir. Bu çerçeveye De Broglie imza atmıştır. Determinist sözcüğünün Türkçe karşılığını kimileri gerekirci kimileri belirlemeci olarak kullanıyor. Her iki sözcükte klasik fiziğin bu özelliğini kesin olarak ifade etmiyor kanısındayım, bu nedenle ben determinist sözcüğünde ısrar ediyorum. Probabilistik yerine Türkçe olasılık kullanılıyor. Kanımca bu uygun. Kuantum fiziğinin tanımladığı olasılık kavramını tam olarak ifade ediyor, bu nedenle ben de olasılık diyorum. Çok saygı duyduğum rahmetli Bülent Ecevit bu sözcüğü çok severek kullanırdı, bilmem belki de onun Türkçesine duyduğum hayranlığın bir sonucudur.

Olaylar insanlığın yüzyıllardır aklına getiremediği olasılık kavramı ile açıklanmıştır. Şimdi üzerinde durulması gereken dalga ve olasılık arasındaki ilişkilerdir. Klasik fizik, Maxwell kuramıyla, yani elektromanyetik dalgalar ile elektrik ve manyetizmada ortaya çıkan her probleme çözüm ve her bilinmeyene açıklama getirmiştir. Ancak De Broglie dalgası, içerik ve kavram olarak klasik fizik dalgalarından yani su dalgalarından, ses dalgalarından, elektromanyetik dalgalardan çok farklıdır. Bir soyutlamadır yani sadece matematiksel bir ifade, bir fonksiyondur. Picasso'nun resimleri gibi. Böyle bir dalgayı su dalgası gibi göremezsin. Fakat var olduğunu olaylar sana sezdirir. Elektromanyetik veya su dalgaları gibi somut özellikler taşımaz. Elektromanyetik dalgalar, elektrik ve manyetik alan gibi ölçülebilen somut fiziksel büyüklüklerin, su dalgalarındaki genliğe benzer şekilde değişir ve ışık hızı ile hareket eder. Bir başka ifadeyle bu soyut dalganın genliği de elektrik ve manyetik alan genliğinin yani şiddetinin, su dalgalarında olduğu gibi yükselip alçalması gibi değişir. Elektromanyetik dalgalar su veya ip üzerindeki dalgalar gibi bir ortama gerek duymaz. Bu da onlara ait soyut bir özelliktir. Şayet gerek duysaydı, başta radyo olmak üzere ne televizyon ne telsiz ne de cep telefonlarıyla haberleşme mümkün olamazdı. Demek ki bir ortama gerek duymuyorlar, bu kadar basit; doğanın kanunu böyle.

Broglie sadece dalga boyu ile parçacığın hızı arasındaki bağıntıyı vermiştir; dalganın ne cins bir dalga olduğu hakkında bir bilgi vermemiştir. Dolayısıyla kuantum fiziğini matematik diline yansıtmak, De Broglie dalgasını matematiksel olarak veren bir dalga denklemini yazabilmek ve onu anlamlandırmaktır. Bunu da Schrödinger başarmıştır. Schrödinger denkleminin çözümleri ile elde edilen dalganın fiziksel yorumu başka bir problemdir. Takip eden bölümde Schrödinger'in denklemini nasıl kurguladığı anlatılacaktır. Kuantum fiziğinin matematik temelini bu denklem oluşturur. Klasik fizikte Newton denklemleri ne ise, kuantum fiziğinde Schrödinger denklemi de odur.

Şimdi şeytanın avukatı şöyle bir soru yöneltir: Lazer ışığı gibi enerji taşıyan maddesel bir parçacık, örneğin elektron demeti benzer bir sonuç verir mi? Yani o da girişim yapar mı?

Eğer elektron demeti ışık demeti gibi aydınlık ve karanlık saçaklar oluşturursa, dalga karakteri taşıyor demektir. Burada deneyin teknik ayrıntısına girmeden soruya doğrudan yanıt vermek yerinde olur.

Evet, elektron demeti tespihi andıran bir dizi maddesel parçacıklardan oluşmasına rağmen, ışık gibi girişim yapar. Bu olaydan daha önce de söz etmiştik. Bu gözlem elektronun hareketini bir dalganın belirlediğini kanıtlar. İşlevi önceleri belirlenemeyen bu dalga De Broglie dalgasıdır. Dalga, elektronu sırtlayıp kendi istediği yere götürür. Elektron gideceği yeri kendisi belirleyemez, dalga belirler. Bu bildiğimiz dalgalardan farklıdır. İşte kuantum fiziğinin soyut gücü ve entelektüel güzelliği buradadır.

Eğer elektron demeti aydınlık ve karanlık saçaklar oluşturursa, dalga karakteri taşıyor demektir. Burada deneyin teknik ayrıntısına girmeden soruya doğrudan yanıt vermek yerinde olur.

Evet, elektronda maddesel bir parçacık olmasına rağmen, ışık demeti gibi dalga hareketi yapar. Dalgalar elektronu sırtlayıp istediği yere

götürür. Bu bizim bildiğimiz dalgalardan farklı bir dalgadır. İşte kuantum fiziğinin özgünlüğü ve bilimsel düşünceye kattığı değer budur; dalgalar arasındaki farkı ayırt edebilmektir. Elektron demeti de bir ışık demeti gibi girişim saçağı oluşturur.

Bu sonuç fizikçileri o dönemde şok etmiştir. Nasıl olur da maddesel bir parçacık dalga özellikleri taşır? Bu konuyu tartışanlar daha da ileri giderek, elektron demetinin şiddetini düşürerek, yani demet içindeki elektron sayısını azaltarak deneyi tekrarladılar ve çok garip bir sonuç ile karşılaştılar. Demetteki elektron sayısını azaltmak, tam olarak değilse bile, tek bir elektronu çift yarık üzerine göndermek demektir. Demet şiddetini ne kadar azaltırsanız azaltın, yani tek bir elektronu dahi gönderseniz, bu tek elektron gider ekranda bir noktayı aydınlatır. Elektron demetinin şiddetini düşürmenin amacı tek tek elektronların nasıl davrandığını saptamaktır. Elektronlar tek tek gönderildiğinden bunların ortak bir davranış deseni oluşturup oluşturmadığını anlamak için bir miktar beklemek gerekir. Yeterli süre beklenildiğinde insanı hayretler içine bırakan bir tablo ile karşılaşılmıştır. Tek başına deliklerden birinden geçen elektron rastgele bir yere değil daha önce gönderilen elektron demetinin aydınlattığı bölgeye gelip oturur. Elektronlar demet olarak değil tek tek gönderildiğinde dahi ekranda girişim saçağı oluştururlar. Bu aklın alacağı klasik fiziğin altından kalkacağı bir gözlem değildir. Şimdi düşünün elektron tek başına bir delikten geçerken öbür deliğin açık olup olmadığını bilmektedir, aynen ışık gibi. Delik açıksa daha önce gönderilen elektronların aydınlattığı saçağa gidiyor; kapalı ise deliğin tam karşısındaki noktaya gidiyor. Gerçekten şok edici bir gözlem!

Elektrona diğer deliğin kapalı mı açık mı olduğunu kim söylüyor?

İşte bu sorunun yanıtı sizi kuantum fiziği ile tanıştırır. Zaman geçtikçe bizi şok eden olgular ile yaşamasını öğrendik, daha da ileri giderek onlardan yararlanma yollarını keşfettik. Elektronun dalga karakteri taşıdığı bilgisini, günlük yaşantımıza giren uygulama-

lar ile pekiştirdik. Elektron mikroskopları bunun en açık örneğidir. Elektronun hızı yani kinetik enerjisi ne kadar artırılırsa onu taşıyan dalganın dalga boyu o kadar küçülmektedir. Doğanın bu özelliğini Broglie keşfetmişti. Bu olgu genel anlamda ışımalar ile bir paralellik gösterir. Bilindiği gibi optik mikroskopların görüntüleyebildiği büyüklük, ışığın dalga boyu ile sınırlıdır. Görünür bölge ışığının en küçük dalga boyu mor ötesi ışığa karşı gelir ve 400 mikron civarındadır. Bir mikron bir metrenin milyonda birine eşittir. Bu nedenle optik mikroskoplar 400 mikrondan daha küçük yapıları görmez; onları görüntüleyemez. Bu sınıra gelindiğinde elektron mikroskopları işin içine girer. Bu konudan daha önce bahsetmiştik, tekrar etmekte fayda var. Çünkü elektronun hızı artırıldıkça dalga boyu küçülür. Ve 400 mikrondan küçük nesneleri yani optik mikroskopların görüntüleyemediği nesneleri elektron mikroskopları görüntüler. Özellikle dokudaki tümör eğilimleri erken aşamada elektron mikroskopları ile tespit edilir. Hücre bilgisi demek olan histoloji elektron mikroskopları ile bir bilim dalı hâline gelmiştir.

Elektrona ait tüm bilgileri, ismi var kendisi yok bu soyut dalga verir. İşte kuantum fiziği bu noktada yaşantımıza girmektedir. Kanser eskisi kadar ölümcül bir hastalık değilse nedeni, elektron mikroskoplarının kanserli dokuyu erken görüntüleyebilmesidir. Optik mikroskoplar, kanserli doku belli bir büyüklüğe gelince görür, erken oluşumları fark edemez. O zamanda iş işten geçer. Erken teşhis yapılmadan erken tedavi yapılamaz. Tedavi aşamasında da kuantum fiziği insanlığın hizmetindedir. Işın tedavisi veya proton tedavisi bunların en çarpıcı örneğidir. Yani kuantum fiziği, amatörlerin yaptığı gibi laf kalabalığı değil çıplak bir gerçektir. Medyumlar, falcılar kuantum fiziğinden anlamazlar; sadece imaj oluşturmaya çalışırlar. Bu soyut dalgayı düşünebilmek ve insanlığın hizmetine sokabilmek akıl işidir.

Kuantum fiziği, biz farkında olsak da olmasak da yaşantımızda her geçen gün daha fazla girmektedir. Bu melun kanser hastalığını

görüntülemek ve hastalığın tedavi yöntemlerini geliştirmek çabaları kuantum fiziği üzerine kurgulanmıştır. Tıbbın bu kadar gelişmesinin bir nedeni de kuantum fiziğidir.

Bu nedenle palavralara başınızı çevirerek neyin ne olduğunu öğrenmeğe çalışın.

Kuantum fiziğinin insanı şok eden bir diğer sıra dışılığı, sadece ışınımların değil kütlesel parçacıklarında, hemen yukarıda elektron örneğinde belirtildiği gibi, çifte karakterde olduğunu söylemesidir. Bir tenis topu veya bir taş parçası, elektron gibi madde içerir, kütlesi yani ağırlığı vardır, yer çekim kuvvetinin etkisi altında kalır. Elektronu taşıyan veya elektrona eşlik eden dalganın dalga boyu elektron enerjisi büyüdükçe küçüldüğü deneysel olarak saptanmıştır. Buna dayanarak, elektron mikroskoplarından daha küçük yapıları görüntüleyen, tarama elektron mikroskopları yapılmıştır. Bu özelliği daha önce tartıştık. Elektron mikroskopları ile neredeyse tek tek atomlar dahi görüntülenebiliyor.

Bunlar hayal gibi gelse de, kesin olarak anlaşılan doğa gerçekleridir. Şimdi bana, "Bir tenis topuna ya da yüksek hızla hedefine kitlenmiş bir füzeye bir dalga tekabül eder mi?" sorusunu yöneltmeniz gerekir. Soru sormaktan çekinmeyin. Evet, belli bir hız ile hareket eden her cisme bir dalga tekabül eder. Bu sadece elektrona has bir özellik değildir. Tenis topuna veya füzeye tekabül eden dalganın dalga boyu öylesine uzundur ki deneysel olarak gözlemek mümkün değildir. Buna karşın elektrona refakat eden dalga elektronun gideceği yeri belli bir olasılık ile verir. Kuantum fiziğinin özgünlüğü buradadır. Tenis topuna veya füzeye tekabül eden dalgayı topun veya füzenin kendisi taşır, dalga füzeyi veya topu taşıyamaz. Dalga bu koşullarda yörüngenin belirleyicisi olamaz; füzenin veya tenis topunun yörüngesini belirleyen kütlesi ve hızıdır. Tenis topunun gideceği yeri raket, füzenin gideceği yeri başlangıç hızı ve kütlesi belirler. Bir taşı ne kadar kuvvetli savurursan o kadar ileri gider.

Kuantum fiziğinde ise elektronun gideceği yeri ona eşlik eden dalga belirler. Daha önce belirtildiği gibi bu bizim bildiğimiz dalgalardan farklı soyut bir dalgadır. İçinizden hayret edeceksiniz, fakat gerçek budur. İlerleyen sayfalarda bunun nasıl bir dalga olduğunu göreceksiniz. Bu konuya ilk açıklamayı De Broglie getirmiştir; yani şeytanın avukatının sorduğu sorunun yanıtını o vermiştir. Kuantum fiziğinin oluşmasında Broglie bir kilometre taşıdır. Peki, elektronun yörüngesini belirleyen bu dalga nasıl bulunur. Şimdi bu sorunun yanıtı verilecektir.

4
Schrödinger ve Olasılık

Çeşitli bağlamlarda belirtildiği gibi matematik doğa olaylarının ifade edildiği bir dildir. Eğer evreni tanrının yarattığına inanıyorsanız, matematiğin de doğanın dili olduğuna inanırsınız. Matematik bilmeyenler doğayı duymakta zorlanırlar. Matematik bilmeyen tanrının sesini duyamaz. Bilim insanları, tanrının sesine sezileri ile ulaşmak isterler, Einstein gibi çok duyarlı dahiler sezileri ile doğanın gerçeklerine ulaşmayı başarmışlardır. Bizim gibi normal insanların sezileri ile doğanın gerçeklerine ulaşması pek mümkün değildir. Tanrı, matematik ile nefes alıp verir; ayetleri matematik ile yazılmıştır. Schrödinger denklemi tanrının soluğunu duymak için kulağa takılan bir işitme cihazına benzer.

Klasik fizik gerçeğin siyah-beyaz fotoğrafını çeker. Gerçek ise çok renklidir, ne kırmızının ne yeşilin, ne koyusunu ne açığını ne çok koyusunu ne az açığını göremez. Özellikle atomik boyutlarda gerçek, çıplak gözle görünmeyen çeşitli renklere bürünür. Klasik fizik olayları açıklamakta yorgun düşüp, çaresiz kaldığı, aklın tıkandığı an, insanlık yeni bir fiziğin gerekli olduğunu fark etmiştir. Kuantum fiziği bu farkındalığın ürünüdür. Elektron gibi maddesel bir parçacığa bir dalga yol gösteriyorsa veya elektron sörf yapan bir sporcu gibi soyut dalganın üzerine biniyor ve hedefine ulaşabiliyorsa, bu doğa olayını ifade eden bir matematiğin mutlaka var olması gerekir. Yoksa tanrı nefes almaz.

Resim 12: *Erwin Schrödinger (1887-1961).*

Harekete bir dalga eşlik ettiğine göre, bizi gerçeğin bilgisine bir dalga denkleminin götüreceği ortadadır. Bir fiziksel sistemin, en basitinden daldaki elmanın hareket edebilmesi, yani yere düşmesi için kendisinde içsel bir enerjinin olması gerekir. O enerji, dalda elmanın oluşması için ağacın kökünden yükselen ve elmada biriken madde miktarıdır. Yeterli miktarda madde elmada biriktiğinde yer çekimine karşı koyamaz sapı kopar ve elma düşer. Elmada biriken madde miktarını o yüksekliğe çıkarmak için yerçekimi kuvvetine karşı bir enerji harcanmıştır. İşte bu enerji yani elmanın maddesel miktarı elmanın dalda kazandığı içsel enerjisidir, buna fizikçiler potansiyel enerji der. Bir baraj gölünde biriken suyun, bulunduğu durumdan kaynaklanan içsel enerjisi yani potansiyel enerjisi elektik enerjisine dönüştürülür. Diğer bir ifadeyle bir iş yapabilme kapasitesine dönüştürülür. Düğmeye bastığınızda odanız aydınlanıyorsa veya çamaşır makinesini çalıştırdığınızda çark dönüyorsa yani sistem bir iş yapabiliyorsa o barajda biriken suyun marifetidir. Suyun potansiyel enerjisini yani elektrik enerjisini aletin görmesidir. Bu dönüşüm sadece bir mühendislik problemidir. Bir sistemin bir iş yapabilmesi yani hareket edebilmesi için mutlaka potansiyel enerjiye sahip olması gerekir.

Schrödinger yukarda çok basit olarak ortaya koyduğumuz akıl yürütmeyi takip ederek belli bir potansiyele, yani hareket edebilme kabiliyetine sahip sistemlerin, dalga hareketi yapma şartlarını matematiksel olarak ifade etmiştir. Bu şartlar bir dalga denklemi doğurmuştur. Buna *Schrödinger Denklemi* denir. Tanrının nefesini insanlık atomik boyutlarda bu denklem ile duyar. Bu nefesi duymak ve değerlendirmek için hurafelere değil, tanrının insana verdiği en değerli servet olan akla dayanmak gerekir. Bu ses öylesine derindir ki, Schrödinger bile bu sesi çok zor duymuştur. Her zaman "Acaba?" demiştir.

İnanınız, bu masum tek satırlık dalga denklemi dünyayı yerinden oynatmıştır ve oynatmaya da devam etmektedir.

Schrödinger denkleminin çözümleri bir dalga hareketini temsil eder. Bir denklem yazmada hiçbir sakınca yoktur. Herkes istediği kadar dalga denklemi yazabilir, ancak denklemin bir bilimsel değer taşıması için, yani tanrının nefesini size iletmesi için, doğa olaylarını açıklayabilmesi gerekir, o zaman bir önem taşır. Eğer bir denklemin gerçek dünya ile bir ilişkisi yoksa böyle bir durum olabilir, o zaman denklemin sadece entelektüel bir değeri vardır. Lise matematik derslerinde alıştırma amacı ile çözülen denklemlerin eğitsel bir değer taşımasına benzer.

Acaba Schrödinger denkleminin çözümleri elektronu sırtlayıp istediği konuma götüren dalgayı temsil etmekte midir?

Bu soruya yanıtı çok kısa bir zaman sonra, ışımada enerjinin paketler hâlinde yayınlandığını kanıtlayan Planck kuantumuna dayanarak geliştirdiği dört postula ile Danimarkalı teorik fizikçi Niels Hendrik Bohr vermiştir. *Bohr atom modeli*ne göre artı yüklü proton sistemin merkezinde sabit, eksi yüklü elektron ise dairesel yörüngelerde hareket etmektedir. Güneş sistemine benzer bir modeldir. Aralarındaki fark gezegenler ile merkezdeki güneş arasında kütle çekim kuvveti, elektron ve çekirdek arasında ise Coulomb kuvvetinin[10] etkin olmasıdır. Elektron bu yörüngelerde ivmeli hareket etmesine rağmen herhangi bir ışıma yapmamaktadır. Bunlara kararlı yörüngeler denmiştir. Klasik fiziğin en genel ilkesi enerjinin korunumu ilkesine göre, ivmeli hareket yapan her elektrik yükü elektromanyetik dalga yayınlar, yani ışıma yapar. Kuantum fiziğinin bir başka garipliği de budur; elektron, kararlı yörüngelerde dönerken ivmeli hareket yapar fakat her nedense ışıma yapmaz. Bohr, bu durumu güneş sisteminde gezegenlerin güneş etrafında dönerken enerji tüketmeleri nedeniyle her geçen asır yarıçapı daha küçük dairesel yörüngelerde hareket etmek durumunda kalmalarıyla karşılaştırarak, hidrojen atomunda

[10] Coulomb kuvveti: Pozitif veya negatif aynı cins iki elektrik yüklerinin birbirini itmesi, pozitif ve negatif iki farklı elektrik yüklerinin birbirini çekmesi

elektronların dairesel yörüngelerde dönerken ışıma yapmamalarının nedenini, küçülmeyen sabit kalan yörünge yarıçaplarına bağlamıştır. Bu insanda hayranlık yaratan dâhiyane bir akıl yürütmedir. Bohr sen çok büyük bir adamsın, iyi ki yaşadın.

Doğa sırlarını atom dediğimiz şifresi kırılmaz bir kasada saklı tutarken, tanrının insana verdiği akıl bu şifreyi çözebilmek için tüm enerjisini, atomun isim babası Demokritos'ten bugüne tam iki bin altı yüz yıl boyunca harcamak zorunda kalmıştır. Atomun içine girerek sırrına vakıf olmak olanaklı değildir. Ancak şifresi kırılamaz kasa duvarlarını Gotik katedralleri gibi renkli camlar ile süslemiştir. İçerden dışarıya sızan ışığın tayfında art arda sıralanmış kırmızı, yeşil ve mavi çizgiler gözlenmiştir. Bohr bu çizgileri Planck'ın kuantalarına bağlayarak öylesine özgün bir matematik geliştirmiştir ki, gıpta etmemek mümkün değildir.

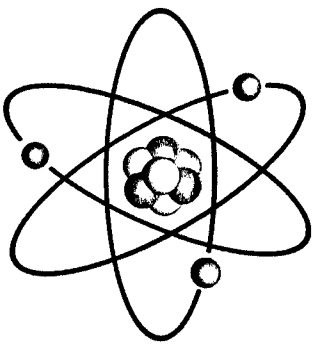
Bir atomu temsil eden çizim Şekil 11'de gösterilmiştir. İki parçacık arasında elektrik yükleri zıt olduğu için bir çekim kuvveti ve bunun sonucu olarak bir potansiyel enerji vardır. Tıpkı, daldaki elmanın potansiyel enerjisi gibi. Hidrojen atomuna, gözlediğimiz özellikleri kazandıran bu potansiyel enerjidir. Bohr, Schrödinger denkleminde, elektron ve proton arasındaki potansiyel enerji ifadesini yerine koyarak denklemi çözmüştür. Sonuç harikadır.

Hidrojen atomunun tayfında gözlenen farklı renkteki çizgiler, atomun bu renklere tekabül eden frekanslarda enerji yayan bir sistem olduğunu söyler. Sayfa 61'de gösterilen spektrum tüm renkler yani frekanslar yani kesikli enerji seviyeleri Schrödinger denkleminin çözümü olarak elde edilmiştir. Haber bilim dünyasına bomba gibi düşmüş ve yer yerinden oynamıştır. Denklemin atomik boyutlarda doğa olaylarını temsil ettiği anlaşılmıştır. Başarı büyüktür. İşte o an kuantum fiziğini temsil eden matematik doğmuştur. Çünkü hidrojen atomunda bilinmeyen bir şey kalmamıştır, şifre çözülüvermiştir. Bohr bu çalışması ile Nobel ödülü almakla kalmamış, adına

Danimarka hükümeti, Niels Bohr Enstitüsünü kurmuştur. Türkiye Cumhuriyeti'nin bilimden sorumlu bakanı ise Nobel fizik ödülüne aday gösterilmiş, kuantum fiziğini öğrendiğim değerli hocam Feza Gürsey adına kurulan enstitüyü kapatmıştır.

Zamanla Schrödinger denklemi tüm diğer atomların gözlenen tayflarını da yaklaşık olarak açıklayabilmiştir. Bu gün atom fiziği çizgileri çizilmiş olgun bir bilimsel disiplindir. Burada Schrödinger denklemin nasıl çözüldüğünü göstermenin bir anlamı yoktur. Amacımız fizik dersi vermek değil sizlere kuantum fiziği hakkında genel bir mantık kazandırmaktır. Şekil 11'de atomik yapı gösterilmiştir. Atomların merkezindeki pozitif elektrik yüklü proton ile çevredeki eksi yüklü elektronlar arasındaki çekim kuvveti atoma gözlenen özellikleri kazandırmaktadır.

Artık elimizde bir denklem vardır. İnsan atomik boyutlarda, her rengi gören yeni bir gözlüğe sahip olmuştur. Genç bir asistanken bu denklemi hidrojen atomu için Schrödinger'den 35 yıl sonra çözüp, gözlenen frekansları elde etiğimde kendimi evrenin bütün sırlarını çözmüş zannetmiştim. Denklem birinci mertebeden kısmi bir diferansiyel denklemdir. Çözümü karmaşık olmasına rağmen keyif verici bir matematik alıştırmasıdır.



Şekil 11: *Bohr Atom Modeli.*

Şimdi bu denklemden elde edilen dalgaya giydirilen fiziksel elbisenin yani olasılığın ne olduğu tartışılacaktır.

Olasılık kuantum fiziğini klasik fizikten ayıran en temel olgudur.

Olasılık kavramı, şanstan farklı bir derinliğe sahiptir. Şansın matematiksel bir karşılığı yoktur; tutkulara, sezilere karşı gelen psikolojik bir beklentidir. Olasılık ise, özellikle kuantum fizik bağlamında matematiksel olarak ifade edilebilen bir büyüklüktür; bir olay ile ilgili bil-

gilerin sınırını çizer. Tek bir zarı attığınızda 6 gelme olasılığı 1/6, iki zarı attığınızda her ikisinin de 6 gelme olasılığı 1/21'dir. Kuantum fiziğinde olasılık bundan daha farklı bir anlam taşır. Olasılık bir eğilim ölçüsüdür. Seçenekler ile gerçek arasında bir durumu belirler. Schrödinger denklemi, olasılığı matematiksel bir mantığa bağlamıştır. Çözümlerin bir dalga fonksiyonu olması onu üç boyutlu uzaydaki radyo dalgalarına veya elastik ortamda ilerleyen dalgalara benzeyen bir kalıba sokmaz. Benzerlikleri sadece matematiksel formlarındadır. Dalgaların fiziksel yorumları veya ne gibi bir fiziği temsil ettikleri farklıdır.

Hareket hâlindeki serbest bir parçacığa eşlik eden dalga, parçacığın her an hangi konumda olduğunu belli bir olasılık ile verir. Sonuç klasik fizikteki gibi kesin değildir. Dolayısıyla atomik ve atom altı boyutlarda bir sistemin fiziksel durumunu ve durumu belirleyen değerleri Schrödinger denkleminin çözümleri verir. Çözüm bir dalga denklemi yani matematiksel bir ifadedir. Tek başına herhangi bir fiziksel büyüklüğe tekabül etmez. Neyin dalgalandığının önemi yoktur. Ses veya su veya elektromanyetik dalgalar gibi bir fiziksel büyüklüğe karşı gelmez. Bilim şimdiye kadar rastlamadığı çok garip bir durum ile karşı karşıya kalmıştır. Şimdi akla gelen soru:

Bu dalga nedir?

Broglie, hareket eden elektrona bir dalganın eşlik ettiğini ileri sürmüş ve sonrada bu dalganın varlığı deneysel olarak kanıtlanmıştır. Bundan kimsenin şüphesi yok. Sorun şudur: Schrödinger denkleminin çözüm olarak verdiği dalga ile Broglie dalgası arasındaki ilişki nedir? Olasılık dalgaları, elektromanyetik dalgalar gibi bir ortama gerek duymuyor, titreşen ne elektrik ne de manyetik alan şiddeti var, sadece bir denklemin çözümü; bir garip dalga. Bu klasik fiziğe tut-

Resim 13: *Max Born (1882-1970).*

ku ile bağlı fizikçilerin kolayca kabul edebilecekleri somut bir dalga olamaz. Kuantum fiziği, tek bir kişinin değil yirminci yüzyılın başlarında böyle bir fiziğin varlığına inanan bir grup fizikçinin ortak başarısıdır. Bu dalgaya olasılık ismini veren dönemin ünlü teorik fizikçilerinden Max Born olmuştur.

Ortada titreşen bir ortam yok fakat bir dalga var. Sadece bir denklemin yani Schrödinger denkleminin çözümü olarak elde edilmiş matematiksel soyut bir dalga fonksiyonu var. Elektronların, -dikkat edin- maddesel bir parçacığın, lazer demeti gibi girişim desenleri vermesi, sihirbazın şapkadan güvercin çıkarması gibi çok garip bir olaydır ve yeni bir sorunsalın çıkmasına neden olmuştur. Nasıl oluyor da elektron demetleri ışık gibi girişim yapabiliyor. Açıklamayı ünlü Alman teorik fizikçisi Max Born yapmıştır. Nasıl lazer demeti, içindeki fotonları elektromanyetik dalgalara yönlendirip gidecekleri konumu belirliyorlarsa, elektronların gidecekleri konumları da onlara eşlik eden Broglie dalgaları belirler. Max Born dalgaların da isim babası olmuştur. Bunlar olasılık dalgalarıdır. Bohr, Schrödinger denklemini hidrojen atomu için çözüp spektrumunu elde etmesinin ardından, denklemin çözümleri olasılık fonksiyonu olarak anılmaya başlamıştır. Şimdi akla gelen soru:

Nedir bu olasılık dalgası?

Şimdi bu soruyu yanıtlayacağız. O güne kadar olasılık, madeni bir paranın yazı mı yoksa tura mı geleceği veya mili piyangoda büyük ikramiye çıkma şansı şeklinde algılanmıştır. Paranın yazı mı yoksa tura mı geleceğini önceki atışlardan bağımsız bir süreç izler. Kırmızı veya beyaz veya rulette herhangi bir numaranın geleceği diğer numaraların gelme olasılığından bağımsızdır. Kuantum fiziğinde olasılıklar önceki süreçlerden bağımsız değildir. Elektron demetlerinin girişiminde görüldüğü gibi ekran üzerinde bir elektronun aydınlık saçak üzerine düşme olasılığı diğer yarıktan geçen elektronun izlediği yoldan bağımsız değildir. Yani elektronlar hareket ederken birbir-

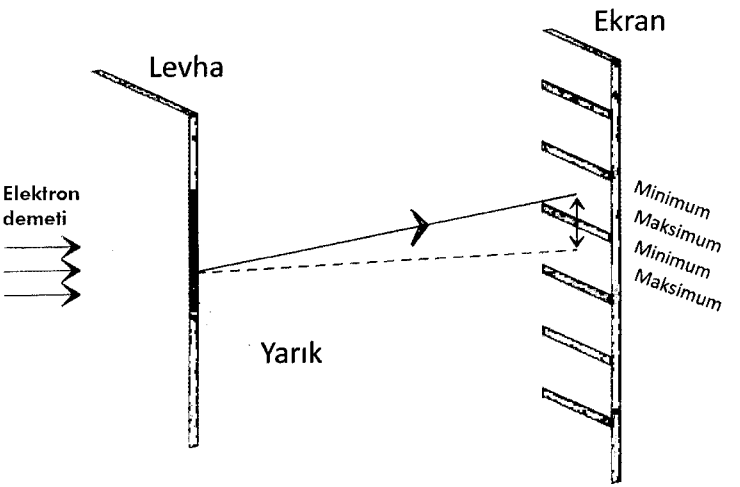
lerinden haberdardır. Aralarında aklın alamayacağı bir bilgi alışverişi vardır. Bu konu ilerde ayrıntılı olarak açıklanacaktır. Klasik ve kuantum fiziğindeki olasılığın farklı olması izlenen süreçlerin birbirinden klasik fizikte bağımsız, kuantum fizikte ise bağımlı olmasından ileri gelir. Klasik fizikte olasılık istatistiksel bir anlam taşır.

Kuantum fiziği 1926 yılında olasılık kavramı ile böyle tanışmıştır. Belirlemeci bir kuram olan klasik fizik olasılığa çok yabancıdır ve bu çekingenliğini belli bir zaman sürdürmüştür. Kuantum fiziğinin, atomik boyutlarda sistemlerin fiziksel durumlarının ancak bir olasılık ile belirlenebileceğini öngörmesi ve Schrödinger denkleminin hidrojen atomu çözümlerinin deney sonuçları ile uyuşması yeni bir fiziğin ilk adımları olmuştur. Emekleyen bu bebeğe tutucular hiç de dost gözle bakmamışlardır.

Olasılık dalgasının kavramsallaşması atomik boyutlarda gözlenen olayların tümüne bir açıklama getirmez. Örneğin elektron, nikel kristaline çarpıp saçıldığında, parçalara mı ayrılmaktadır yoksa belli konumlarda sıfırdan faklı olasılıklar ile mi bulunmaktadır? Kuantum fiziğine göre, elektronun saçıldıktan sonraki konumunu elektronu tanımlayan olasılık dalgasının karesi belirler. Anlaşılacağı gibi olasılık matematiksel bir işlem ile bulunur. Nasıl klasik fizikte bir parçacığın konumunu, hız ile zaman çarpımı sonucuna göre belirliyorsak, kuantum fiziğinde de matematik bir işlem yapıp parçacığın herhangi bir noktada bulunma olasılığını hesap ederiz. Bu fizikçileri ve mühendisleri ilgilendiren bir konudur, üzerinde durmanıza gerek yok, hesap edilebilir olduğunu bilin yeter. İlke olarak ikisi de aynıdır. İkisi de matematiksel bir işlemdir. Bir parçacığın konumu bir fonksiyonun (olasılık fonksiyonu) karesini almak gibi basit bir işlem ile bulunur. Elektronun çevre ile etkileşmesinde kendisine eşlik eden olasılık dalgasının belirleyici olduğu, yapılan çok sayıda deney ile kanıtlanmıştır. Bilimsel çevreler böyle soyut bir dalganın var oluşuna, gerçeğin bilgisini ortaya çıkarttığı için inanmışlardır.

Tanrının soluk alış verişi Bohr'dan sonra her geçen gün daha çok sayıda bilim insanı tarafından duyulmaya başlanmıştır. Günümüzde olasılık dalgasının varlığı ve sonuçları problem olmayı sürdürmektedir.

Girişim yapan elektronların yüksek olasılıklar ile bulunduğu konumlar, her bir elektronu taşıyan dalgaların kuvvetlendirici girişim yaptığı, yani dalga genliklerinin üst üste bindiği, en düşük olasılıkla bulunduğu konumlar ise, dalgaların yok edici girişim yaptığı yani genliklerin birbirini yok ettiği konumlardır. Olasılık dalgası elektronları genliklerinin üst üste bindiği yani enerjinin maksimum olduğu konumlara taşır, oralarda aydınlık saçaklar oluşur. Elektronları taşıyan geminin kaptanı olasılık dalgası onları kendi belirlediği limanlara götürür. Genliklerin birbirini yok ettiği konumlara ise, elektronlar çok düşük olasılıklar ile taşınır. Yani buralarda elektron yoktur, daha doğru bir ifadeyle, elektronların burada bulunma ola-



Şekil 12: *Elektron demeti ışık demetinden farklı olarak maddesel parçacıklardan yani kütlesi olan parçacıklardan oluşur. Şekilde elektron demetinin ışığın çift yarık deneyinde olduğu gibi girişim yaptığı gösterilmiştir. Esasında elektron demetinin girişim deneyinin teknik ayrıntıları şekilde gösterilenden farklıdır. Burada amaç elektronlarında ışık gibi girişim yaptığını anlatmaktır.*

sılığı çok düşüktür. Elektronların dinamiğini olasılık dalgaları belirlemektedir. Klasik mekanikte olasılıklara yer yoktur; hareket hâlinde bir cismin yörüngesini ve gideceği yeri başlangıç şartları belirler. Bir havan topunun ilk hızı ve namlusunun yatay eksenle yaptığı açı bilindiğinde yörünge üzerindeki her noktadaki hızı bellidir.

Çift yarık deneyinde sorular sormuştuk:

Fotona diğer yarığın kapalı mı, açık mı olduğunu ve gideceği yeri kim söylüyor?

Elektrona diğer yarığın kapalı mı açık mı olduğunu ve gideceği yeri kim söylüyor?

Bu soruların yanıtlarını olasılık ile tanışan kuantum fiziği vermiştir. Gerek fotona gerekse elektrona yarığın kapalı mı, açık mı olduğunu ve ekranda gideceği yeri olasılık dalgaları söylüyor. Doğa veya Tanrı, iradesini elektronun kulağına nereye gideceğini fısıldar. Kuantum fiziği fısıltıyı duyar. Bu fısıltıyı herkes duyamaz. Birileri kutsala atıf yaparak Allah-ü Teâla şöyle buyuruyor diyenler, kanıtladıkları olguları değil inandıkları hipotezleri gerçek gibi göstermeye çabalarlar. Bilgisizliklerini tanrıya fatura ederek işin içinden çıkarlar.

Deneyler, elektron gibi atomik boyutlardaki kütlesel parçacıkların hareketlerini, olasılık dalgasının belirlediğini kanıtlamıştır. Ancak kuantum mekaniğinin yeni şekillendiği dönemde olasılık dalgasının matematiksel formunu verecek bir denklem mevcut değildi. Olasılık kavramına ilkesel olarak karşı çıkmayan bilimin yeni hedefi olasılık dalgasını verecek denklemin peşine düşmek olmuştur. Newton ve Einstein denklemleri makroskopik boyutlarda cisimlerin konum-zaman eğrilerini yani yörüngelerini, hız-zaman ve ivme-zaman eğrilerini verirler. Bu denklemleri çözerek makroskopik boyutlarda hareketin geçmişi ve geleceği kesin olarak belirlenir. Olasılığın egemen olduğu atomik boyutlarda kütlesel parçacıkların dinamiğini belirleyen dalganın zaman içindeki değişimini veya gelişimini Schrödinger denklemi verir. Schrödinger denklemlerinin çözümlerine yani olasılık dalgalarının fonksiyonel formuna dal-

ga denklemi denir. Klasik fizikteki Newton ve Einstein denklemlerinin yerini kuantum fiziğinde Schrödinger denklemi alır. Anlaşılacağı gibi, kuantum fiziği dalga denklemleri üzerine kurgulanmış doğa olaylarının zaman içindeki gelişimini belli olasılıklar içinde verebilen bir ihtimaliyet kuramdır.

Kuantum fiziği, evrenin yaratılışı ve gelişmesinin modellenebileceğini ve dinamiklerinin belli olasılıklar içinde ifade edilebileceğini söyler.

Çift yarık deneyinde yarıklardan birinden geçen tek bir elektronun, ilk bakışta diğer yarıktan geçen tek elektron ile herhangi bir iletişimi söz konusu olmadığı düşünülür. Ancak girişim olayı derinliğine incelendiğinde elektronlar arasında hassas bir iletişimin var olduğu görülür. Yarık üzerine düşen tek bir elektron, herhangi bir şekilde, yarıktan geçtikten sonra ekran üzerinde nereye konuşlanacağını bilebilmektedir. Elektronların bu özelliği Schrödinger, Broglie ve Max Born dalga fonksiyonu ve olasılık kavramı ile açıklanır. Yarıkların üzerine tek bir elektron dahi yöneltilmiş olsa, elektrona eşlik eden dalga fonksiyonu elektron yarıklardan birinden geçerken diğer yarığı da görür. Bu tek elektron, sanki iki yarıktan elektron demeti geçiyormuş gibi girişim desenindeki parlak saçaklarından birisinde yerini alır. Yani elektron tek bir yarıktan geçmesine rağmen diğer yarığın da bulunduğunun farkındadır. Buradan kuantum fiziğinin yerel olaylar ile sınırlı kalmayan evrensel bir özellik taşıdığının ilk sinyalleri görülür. Elektron demetindeki her elektron diğer elektronların ne yaptığını bilerek hareket etmektedir. Elektronlar, kendilerine refakat eden olasılık dalgaları ve diğer elektronlar ile haberleşirler.

Paranın, havada dönerken yazı mı yoksa tura mı geleceği hakkında hiçbir öngörüsü olamaz; yani sonuç, süreçten bağımsızdır. Elektronların çift yarık deneyinde ise sonuç sürece bağlıdır. Elektronların çizdiği yörüngeler birbirinden haberdardır. Kuantum fiziğini ilginç kılan, atomik boyutlarda doğanın böylesine garip davranması ve bizim onu anlamakta zorlanmamızdır. Amacım sizlere bu zorluğu kolaylaştırmaktır.

Biraz da bu kitabı kuantum fiziğinin orasını burasını, kendi amaçları için çekip duranlar için yazıyorum. İnsanların kuantum falına ba-

kanlar bile çıktı, bu da işin eğlenceli tarafı. Gerçekten kuantum fiziği doğanın gizemlerini anlayıp yorumlamada insanlığa şimdiye değin ayırt edemediği bir ufuk sunmuştur. Kuantum mantığı ve metodolojisi içi boş laflar ile doldurulmamıştır.

Elektron demeti ile gerçekleştirilen, dalga fonksiyonu ve olasılık kavramları ile açıklanan çift yarık deneyine Richard Feynman, dalga fonksiyonlarına başvurmadan ve deney sonuçlarıyla uyumlu çok ilginç bir açıklama getirmiştir. Feynman 20. yüzyılın en önemli bilim insanlardan biridir. Bu açıklama klasik fizik alışkanlıkları ile kuantum fiziğini anlama zorluklarını ortaya koyar. Yoruma göre demet içindeki her bir elektron, kaynaktan üzerinde çift yarık bulunan düzlemi geçip duyarlı ekrana kadar olan çok sayıda mümkün parkurlardan herhangi birini kendiliğinden seçer. Bu parkurdan biri yarıklardan geçen ekrana yönelmiş bir doğru olabileceği gibi, çok karmaşık eğrilerden biri de olabilir.

Feynman, kaynak ve ekran arasındaki parkur sayısını ayarlayıp, ortalamasını alarak ekran üzerinde dalga fonksiyonu kavramı ile açıklanan desenin aynısını elde etmeyi başarmıştır. Feynman bu matematiksel tekniği, yörüngeler üzerinden ortalama alma tekniği olarak adlandırır. İnsanlığın gurur duyacağı bu zekâya hayran olmamak mümkün değildir. Ünlü *Feynman Lectures* her fizikçi için bir başucu kitabıdır. Kendisini tanımış, konferanslarını dinlemiş olmaktan hep gurur duymuşumdur. Bu paragrafta olaya daha basit bir anlatım getirmek için kaynak ve

Resim 14: *Richard Feynman (1918-1988). Paine Mansion Woods 1984. Tamiko Thiel özel izni ile.*

ekran arasındaki elektron yörüngelerine parkur denmiştir. Her iki sözcük aynı anlama gelir. Görüldüğü gibi bu yorumda, elektrona soyut bir dalga tekabül ettirilmeden açıklanmak istenmiştir. Köktenci klasik fizikçiler, somut olmayan bir dalga fonksiyonuna nasıl itiraz ettilerse, Feynman'ın açıklamasına da, elektronu aynı anda çok sayıda yörüngeye yerleştirmesine de itiraz etmişlerdir. Klasik fizik bağlamında böyle bir durumun mümkün olamayacağını ileri sürerler ve aşağıdaki sorunun yanıtını isterler.

Nasıl olur da elektron aynı anda birden fazla yörüngede bulunabilir?

Bunu gerçek olarak şimdiye kadar oluşturduğumuz mantık kabullenebilir mi? Kabullenmemiştir de. Kuantum fiziği kralı hep çıplak görmüştür, fakat kralın çıplak olduğunu topluma anlatmakta zorlanmıştır. Feynman'da kralı çıplak görenlerdendir. Bilim, tartışmalar, sorgulamalar şüpheler ile gelişir. Siz de önemli veya önemsiz soru sorma alışkanlığı edinin. Burada her söylenene inanmak gibi bir davranışa yer yoktur, amaç söyleneni anlamaktır.

Yörünge sayısının sonsuza yakın olduğu varsayımı karşısında, eleştirinin dozu artar; sesler yükselir, heyecan artar; kritik edenler, eleştirenler hırçınlaşır. Ancak kuantum fiziğinin, doğada var olan bu ve buna benzer gariplikleri art arda açıklamasıyla birlikte klasik fiziğe kökten bağlı kalanların itiraz sesleri zamanla alçalmıştır. Feynman tekniği ile yapılan hesaplar dalga fonksiyonu kavramını kullanarak yapılan hesapların, deney sonuçları ile çelişkili olmaması, her iki yoruma da güvenilirlik kazandırmıştır. Doğa bu boyutlarda bize garip gelen davranışlar göstermektedir. Gariplik kuantum fiziğinin kurgusunda değil doğanın kendisindedir, beni anlayın diyen doğadır. Kuantum fiziği bu gariplikleri gören bir göz, fısıltıları duyan bir kulaktır.

Esasında çok sayıda olası yörüngenin ortalaması alınarak gerçek yörünge bulunur düşüncesi çok eskilere dayanır. İskenderiyeli bir astronom olan Heron milattan önce ikinci yüzyılda, hareket hâlinde

bulunan nesneler için en doğru yolun en kısa yol olduğunu ileri sürmüştür. Aradan 1800 yıl geçtikten sonra Fransız matematikçisi Maupertuis (1698-1759) Heron'un söylediklerini matematiksel bir formata dönüştürmüştür. Buna "Maupertuis İlkesi" denir. Bu söylemler günümüzde, cisimler doğa kanunlarına uygun yörüngeler seçer şeklinde yorumlanmıştır. Çünkü en kısa yol potansiyel enerjiyi minimum yapan yoldur. Esasında klasik mekanikte bu prensip yörünge hesaplarında kullanılır. Belki de tanrının nefesini Maupertuis geçekten duydu.

İnsan aklının, sosyal veya fiziksel bir olayı açıklamak için kurguladığı modeller bilimi idealaştıran soyutlamalardır. Bu soyutlamaların sınırını, sosyal yaşam veya doğa olayları ile nesnel uyumlar veya uyumsuzluklar çizer. Bir doğa olayını açıklamak için varsayımlara dayandırılarak kurgulanan soyut modeller, esasında gerçeği ortaya çıkartmak için yapılır. Başka bir amacı yoktur. Darwin tanrıyı inkâr etmek için değil gerçeği bulmak için evrimsel biyolojiyi kurgulamıştır. Çünkü tanrı, nefesini sadece gerçekler ile duyurur. Kuantum kuramında da durum aynıdır.

Bize zor gelen kuantum fiziği değil, doğanın kendisinde var olan gariplikleri anlamakta karşılaştığımız güçlüklerdir.

Klasik fizikte, örneğin termodinamikte, bir gaz sisteminin durumu, basınç, sıcaklık ve hacim (P, T, V) ile belirlenir. Hava tahminleri bile bu üç büyüklük ile yapılır. Gazların genel denklemi basınç, sıcaklık ve hacim arasındaki bağıntıları verir. Hareket etmekte olan bir cismin fiziksel durumunu, cismin konumu ve o konumdaki hızı tanımlar. Otobüsle Ankara'dan İstanbul'a gidiyorsanız, bir yakınınıza telefon ederek şu anda Bolu'da mola verdik derseniz, durumu belli etmiş olursunuz. Benzer şekilde bir elektrik devresinin durumunu, direnç ve iletkenin içinden geçen akım şiddeti (R, I) kabaca belirler. Kuantum fiziğine gelince iş değişir, sistemin fiziksel durumunu, Schrödinger denkleminin çözümleri verir. Bunlara sistemin kuantum sayıları

denir. Burada amacımız fizik dersi vermek değil sadece lise sınıflarında gördüğümüz fizik ile kuantum fiziği arasındaki farkı belirtmektir. Esasında eğitim sistemimizdeki dershane uygulamaları öğrencilere fizik kanunlarını öğretmeyi amaçlamadıklarından, belki sizde bu kültürel yozlaşmanın kurbanlarından birisinizdir. Evrenin sırlarını değil senin benim gibi insanların düşünerek bulduklarını söylüyorum bunların hepsi dâhi değil, senin benim gibi sıradan insanlar.

Schrödinger denkleminin çözümleri atomik boyutlardaki sistemlerin durumlarını belli olasılıklar dâhilinde verir. Klasik fiziğin gelecekte neler olacağını bildiren denklemlerinin yerini kuantum fiziğinde olasılıkların neler olacağını veren denklemler almıştır. Zaman bağlı Schrödinger denklemi olasılıkların gelecekte nasıl dağılım deseni çizeceğini verir. Bu noktada olasılık ile istatistiki verilerden çıkarılan sonuçları karıştırmamak gerekir. İstatistiksel yöntemler beli bir sosyal veya fiziksel ve kimyasal olayın meydana geliş sıklıklarından akıl yürütme ile elde edilen sonuçlardır. Olasılıkta ise sonuçları akıl yürütme değil matematik verir. Bir madeni paranın, önceleri belirtildiği gibi, yazı veya tura gelme olasılığı (%50-50) birbirine eşittir. Bin kere denesek yaklaşık olarak 500 kere yazı 500 kere tura gelir. Ancak 250 kere tura 750 kere yazı gelirse işin içinde başka etkiler olduğuna inanırız. Bu örnek şans ile olasılık arasındaki farkı açıklar.

Schrödinger ve Kedi Paradoksu

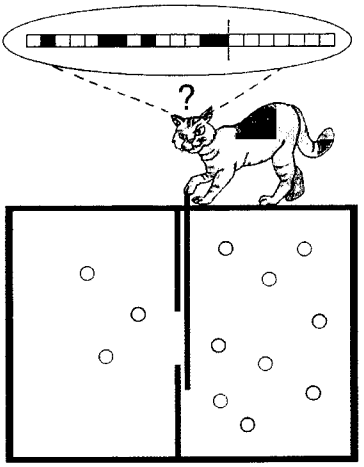
Daha önce belirtmiştim. Schrödinger kendi denkleminin derinliğini, fizikte olasılığa yer olmadığını düşünerek kendisi bile fark edememiştir. Kuantum fiziği, evreni çılgın kuramlar tasarlayarak yorumlasa da, bu çılgınlığı uygarlık tarihine kazandıranlar kendi keşiflerine şüphe ile yaklaşabilecek kadar kendilerini aşmış insanlardır. Schrödinger bunun tipik bir örneğidir. Kendi adı ile anılan denklemin hidrojen spektrumunu açıklaması ve kuantum fiziğinin matematiksel alt yapısını oluşturmasına rağmen, determinist gele-

neği olan bilimde olasılığın anlamsız olabileceğini düşünmüştür. Bu endişesini, o dönem kuantum fiziğinin yılmaz savunucusu Bohr'a açıkça söylemiştir. Daha da ileri giderek kuantum mekaniğini ayakta tutan olasılık kavramını Schrödinger kedisi olarak bilinen ünlü bir düşünce deneyi ile kritik etmiştir.

Schrödinger bir kutu veya küçük bir sandık içine yerleştirilmiş bir kedi ve içi zehirli gaz dolu ince bir cam şişe ve tam üzerinde düştüğünde şişeyi kıracak ağır bir çekicin bulunduğu bir düzenek tasarlamıştır. Çekiç yakınında radyoaktif alfa parçacıklarını tanıyacak özel bir sayaca bağlıdır. Çekiç ve sayaç düzeneğinin yakınında alfa parçacığı yayan küçük bir miktar uranyum bulunur. Uranyum atomunun gelişigüzel alfa parçacığı yayınlaması tümü ile bir kuantum fiziksel olayıdır; sonuçları yani alfa parçacığı yayınlayıp yayınlamadığı ancak belli olasılıklar ile bilinir. Örneğin deney başlatıldıktan sonra ilk bir iki saniye içinde uranyumun alfa parçacığı yayınlama olasılığının %50 olduğunu kabul edelim. Bu makul bir kabuldür. Gerçekten alfa parçacığı yayınlanınca özel sayaç bunu tanır ve çekiç mekanizmasını harekete geçirerek şişenin üstüne düşer. Sonuçta şişe kırılır zehirli gaz serbest kalır ve kedi ölür.

Kedi severler, ben de kedileri severim. Ornella Mutti'nin gözleri gibi güzel gözleri olan bir kedi beslemekteyim; hiç endişe etmeyin bu sadece bir düşünce deneyidir. Gerçekte kedinin ölmesi söz konusu değildir.

Kuantum fizikçilerinin kafasını uzun süredir meşgul eden ve hâlâ da meşgul etmeyi sürdüren ünlü kedi paradoksu, soru ve yanıtlar ile anlaşılır hâle getirilir. Kedi kutuya sokulduğu an canlıdır, bu kesin. Kutuya konduktan bir iki saniye sonra kedi cansız mı yoksa canlı mıdır? Uranyum atomunun alfa parçacığı yayınlayıp yayınlamadığını bilemediğimiz için kedi cansız mı yoksa canlı mı bilemeyiz. Uranyum atomu, kuantum fiziğine göre, aynı anda iki hâlde birden, yani alfa yayınlamış veya yayınlamamış hâlde bulunabilir.



Şekil 13: *Schrödinger kedi deneyi.*

Uranyum atomu gibi atom ve moleküllerden meydana gelen kedi için bu durum aynen geçerlidir. Sandığı açmadan hemen önce bu mantığa göre kedi hem canlı hem cansız olabilir. Kedinin aynı anda hem canlı ham de cansız olması akla uygun değildir. Kedi aynı anda hem canlı hem cansız olamaz, çelişki buradadır. Kapağı açtığımızda biraz önce içerde neler olup bittiğini öğrenmiş oluruz. Kuantum fiziği bu olasılığı dışlamaz. Schrödinger, kedi paradoksu ile deterministlerin eline çok güçlü bir dayanak vermiştir. Önemli olan tartışmayı kimin kazanacağı değil gerçeğin ne olduğudur. Kuantum fiziği, yere basan bir mantık ve tutarlı matematik üzerine kurgulandığından, bu ünlü paradoks bir süre sonra çözülmüştür.

Kuantum fiziği, kapağın açıldığı an gerçeğin ortaya çıkacağını söyler. Ölçme yapılmadan yani kapak açılmadan önce sadece olasılıklar söz konusudur; olasılıklar gerçek değildir. Bu kolayca kabul edilecek bir açıklama değildir. Sisteme ait tüm bilgileri içeren olasılık fonksiyonuyla kapağın açılarak gözlem yapılması yani kedinin canlı mı yoksa cansız mı olduğunun tespit edilmesi ve aralarındaki ilişkilere, kuantum fiziği akla yatkın bir açıklama getirir. Sandığı açmadan önce kedinin cansız mı yoksa canlı mı olduğu bilinmez. Radyoaktif çekirdeğin alfa ışını yayması tümüyle kuantum fiziksel bir olaydır ve kuantum fizik çerçevesi içinde yorumlamak gerekir. Buna göre kediyi cansız ve canlı veren dalga fonksiyonu vardır. Kedi %50 olasılıkla cansız, %50 olasılıkla canlıdır. Başka bir olasılık yok-

tur. Sandığı açtığımızda, yani fizik terimleriyle ifade edilirse gözlem yani deney yaptığımızda, örneğin kediyi %50 olasılıkla canlı veren dalga fonksiyonuna uygun olarak kedi canlı olarak gözlenir. Burada akla hemen şu gelir; kediyi %50 olasılıkla cansız veren dalga fonksiyonuna ne oldu? Yanıt pek tatmin edici değildir, bu duruma olasılık fonksiyonunun çöküşü denir ve ileride ayrıca tartışılacaktır. Sıfırlanmış olasılık fonksiyonu sisteme ait bilgi içeremez; yani fiziksel anlamını yitirmiştir. Sandık açılmadan hemen önce kedi %50 olasılıkla cansız %50 olasılıkla canlıdır. Çelişki böyle açıklanır.

Bu kuantum fiziğinin verdiği bir sonuçtur. Açıklamayı yani olasılık fonksiyonunun çökmesini kabullenmek için düşünce tarzını derinleştirmek gerekir. Söz konusu olan sadece olasılıklardır, gerçek değil. Şimdi akla şu anlamlı soru gelir: Sandık açılmadan önce, kuantum fiziğine göre kedi, aynı anda hem canlı hem de cansız olabilir. Bu açıkça mantıksız bir önermedir. Kendi denkleminin ve ona ilişkilendirilen olasılık kavramının verdiği sonuç, Schrödinger'e göre saçmadır. Acaba kedinin canlı veya cansız oluşu sandık açıldığı anda meydana gelen bir olay mıdır? Bu ünlü düşünce deneyi hem fizikçiler hem de filozoflar arasında derin tartışmalara neden olmuştur.

Kuantum fiziğine soğuk bakan Einstein tartışmaların baş aktörüdür. Einstein bu açıklamayı, gökyüzünde asılı duran Ay orada dururken biz ona bakınca sanki birden ortaya çıkmasına benzeterek eleştirir. İlk akla gelen böyle bir durumun klasik fizik yasalarına göre söz konusu olamayacağıdır. Ay ordaysa, orada duruyordur; biz baktığımızda ortaya çıkmaz. Ancak insan aklı, bu derin çelişkiyi açıklamayı başarmış, paradoksu çözmüş, kuantum fiziğinin geçerli olduğu alanı makroskopik boyutlara kadar yükselterek bu günkü parlak entelektüel değerine kavuşturmuştur. Çelişki, bir kuantum sisteminde ölçü yapıldığında ortaya çıkan uyum bozan dalgalar ile açıklığa kavuşturulmuştur. Uyum bozan dalgalar ileride anlatılacaktır.

Bir sonraki bölümde 1930 yılında Solvay Konferansında Einstein ve Bohr arasında, kuantum fiziğinin geçerli ve tutarlı bir teo-

ri olup olmadığı hakkında yaşanan bilim tarihinin en ateşli tartışması konu edilecektir. Yalnız kuantum fiziğinin değil, bilgi çağının kaderi bu tartışmada belirlenmiştir. Bohr'un "Kopenhag Yorumu" ile buna karşı Einstein ileri sürdüğü eleştiriler kuantum fiziğine hayat vermiştir. Bu konferansta küçüklü büyüklü tüm Avrupa ülkelerinden bilim insanları katılırken genç cumhuriyetimizden hiç kimse katılamamıştır. Cumhuriyet düşmanlarına ve Osmanlı hayranlarına duyurulur. Beş yüz yıl dünyaya hükmetmiş bir cihan imparatorluğu tartışmaya taraf olmak şöyle dursun onu anlayabilecek tek bir bilim insanı dahi yetiştirememiştir. Osmanlı medreselerinde matematik, fizik kimya biyoloji yerine ilmi-kelam ve fıkıh okutursan netice bu olur. Günümüzde çok sayıda üniversitemizde fizik bölümü dahi yoktur, dünya bilgi çağını yaşarken gökdelen yapmayı, kanal açmayı marifet sanıyoruz. Silikon Vadisi kuantum bilgisi üzerine kurgulanan bir araştırma geliştirme merkezidir. Bu gidişle ülkemiz Dikmen Vadisi ile yetinmek zorunda kalacaktır.

Tartışmanın inceliğini takip edebilmek için önce kuantum fiziğini klasik fizikten ayıran "Heisenberg Belirsizlik İlkesi"ni anlamak gerekir. Bu önemli ilkenin ne olduğu anlaşıldığında paradoksun çözümü de anlaşılacaktır. Öylesine bir gariplik ile karşılaşacaksınız ki şaşırmamak mümkün değil

Heisenberg belirsizlik ilkesi

Evrenin makroskopik boyutlardaki hareketlerini duyu organlarımızla algılarız, yetersiz kaldığımız durumlarda aletler kullanırız. Çevremizde gördüğümüz doğal olsun veya olmasın her nesneyi her olayı her değişimi fark edişimiz ve anlayışımız klasik fizik kanunları içinde kalır. Bunun dışına çıkmak hiç aklımıza gelmez. Mekanik, termodinamik, elektromanyetizma ve optik, yani klasik fizik, olayları bize garip gelmeyen bir biçimde açıklar. Dolayısıyla aklımız, makroskopik boyutlarda klasik fiziğe takılı kalır. Radyo keşfedildiğinde

hayret etmişizdir. Belli bir süre sonra nasıl çalıştığını anlamış ve hayretimiz meraka dönüşmüştür. Bir başka ifadeyle makroskopik evren yabancı olmadığımız olaylar bütünüdür; onları anlamakta pek güçlük çekmeyiz. Mühendislik mesleği bu anlayış üzerine kurulmuştur. Ancak atomik boyutlara [10^{-10}m (metrenin on milyarda biri)] indiğimizde adeta evren bizim anlayışımızla alay edercesine gariplikler gösterir. *Heisenberg Belirsizlik İlkesi* bu garipliklerin öyküsüdür.

Mesleği ne olursa olsun her gün insanı şaşırtan sosyal, kültürel olayların nedenlerini merak eden her insan, bu karmaşık şifreyi çözebilmek için kuantum fiziğinin garipliklerini kendi anlayış coğrafyasına yansıtmak zorundadır. Kuantum fiziği sadece bir fiziksel kuram değil, yirmi birinci yüzyıl düşünce dünyasının kavramsal alt yapısını oluşturan entelektüel bir değerdir. Esasında alışık olmadığımız durumları kavrayabilmek için sadece klasik fizik saplantılarından kurtulmak, akla özgürlük tanımak yeterlidir. Heisenberg belirsizlik ilkesi doğanın gizemli kapılarını açan bir maymuncuk gibidir. Bu ilkeyi özümseyen bir kişi resim, yontu, mimari gibi sanat eserlerine bile daha bilinçli bakar. Değerli soyut tablolara bakıp, ne var bunu ben de yaparım dedikten sonra gidip çıplak kadın resmi yapmaz, ne diyor diye anlamaya çalışır. Siz de onlardan biri olun.

Resim 15: *Karl Werner Heisenberg (1901-1976).*

İnsan aklı, doğanın sergilediği gariplikler karşısında hiç yılgınlık göstermemiş, kimi zaman şaşırmış, içinden avazı çıktığı kadar, "Nasıl böyle bir şey olabilir?" diye haykırmış; ancak belli bir süre sonra bu şaşkınlığını olağanüstü bir mantığa dönüştürmesini bilmiştir. Kuantum fiziği böyle bir dönüşümün ürünüdür. Elektrona tekabül

eden soyut bir dalganın varlığını kavrayabilirseniz, belirsizlik ilkesini kavramakta zorlanmazsınız. Anladığınızda başarınızı kutlamak için sessizce çığlıklar atarsınız. Kendinizi bir sihirbaz gibi hissedip keyif alırsınız. İnsan aklının yaratıcılığı karşısında saygı duyarsınız ve bir öz güven kazanırsınız.

Çift yarık deneyinde, kaynaktan ekrana kadar hareket etmekte olan elektronun konumunu an ve an, üzerine bir ışık demeti düşürerek, belirlemek mümkün müdür? Prensip olarak mümkündür. Bu soruyu sormamızın nedeni, elektronun fosfor ekran üzerinde konuşlanacağı noktayı, tüm hareketi süresince kendiliğinden biliyormuş gibi bir yol izlemesindendir. Acaba gerçekten böyle midir? Klasik fiziğe göre bunu düşünebilir ve yapabiliriz. Ankara'dan İstanbul'a gitmekte olan bir otomobilin konumunu ve hızını, tüm yolculuğu süresince belirlememize engel hiçbir şey yoktur. Ancak aynı mantığı, kaynaktan ekrana kadar olan yolculuğunda elektrona uygulayamazsınız. İşte bu sınırda mikroskobik evrenin, yani atomik boyutlardaki evrenin, şimdiye değin bilinmeyen gariplikleri ortaya çıkar. Elektron, mikroskobik bir büyüklüktür, otomobil veya denize doğru fırlattığınız bir taş parçası gibi hareketini an ve an gözlemeniz mümkün değildir.

Kaynaktan ekrana kadar olan yolculuk sürecinde elektronun konumunu belirlemek amacı ile bir deney tasarlanabilir. Elektronun üzerine ışık düşürülüp gözlendiğinde, izi saptanabilir. İlk akla gelen yöntem bu olabilir. Ancak klasik fizikte gözlemlemediğimiz bir durum karşımıza çıkar. Işık düşürmemizin amacı elektronu görüntülemek, yani konumunu saptamaktır. Elektron çok küçük bir nesne olduğundan onu görüntülemek için üzerine düşürdüğümüz ışığın dalga boyunun da aynı ölçüde küçük olması gerekir. Dalga boyu küçülünce ışıkta tanecik karakteri baskın hâle gelir. Işık demeti art arda tespih taneleri gibi dizilmiş enerji paketlerinden yani fotonlardan meydana gelir. Fotonlar elektronlara çarparak yörüngelerini

değiştirir, sanki kuantal bir trafik kazası meydana gelir. Bu nedenle elektronun her an nerede olduğu, üzerine ışık düşürerek kesin olarak belirlenemez. Olay, hızlı hareket emekte olan bir bisikletlinin üzerine toma hortumu ile su sıkarsanız bisikletlinin düşmesine veya yönünü değiştirmesine benzer; aynı hortum ile suyu altmış yetmiş ton yük taşıyan koskoca bir kamyona sıkarsanız aldırmadan geçer, yönünü değiştiremezsiniz. Elektronun üzerine kısa dalga boylu ışık düşürmek, bisikletliye hortum ile basınçlı su sıkmaya benzer. Üzerine ışık düşürülen elektron, üzerine hortumla su sıkılan bisikletçi gibi yönünü şaşırır, bu nedenle konumu belirlenemez. Şimdi şayet ışığın şiddetini düşürerek yani foton elektron çarpışmasını önleyerek, an ve an elektronun bulunduğu nokta görüntülenebilir mi tartışılacaktır.

Işık demetinin elektrona yörüngesini değiştirecek kadar enerji aktarılmaması için şiddetinin azaltılması istenir. Foton elektron çarpışmasını önlemenin yolu budur. Bu klasik benzetmede hortumdan fışkırtılan suyun hızının düşürülmesine benzer. Bu sağlanırsa hortumdan fışkıran su, sporcuyu ıslatır ancak yörüngesini değiştirmez. Ankara'dan İstanbul'a gitmekte olan otobüse ne kadar şiddetli ışık düşürürseniz düşürün otobüs yolunu değiştirmeden hareket eder. Ancak durum, atomik boyutlarda böylesine basit değildir. Üzerine ne kadar düşük şiddette ışık demeti düşürürseniz düşürün elektronun yörüngesinde ve hızında değişikliklere neden olursunuz. Yani elektronun konumunu ölçmek için düzenlediğiniz deney elektronun konumunda ve hızında değişikliklere neden olur. Atomik boyutlarda doğa böyle davranır. Dışarıdan müdahale edenlere, yani deney yapanlara, işime karışma der. Dışarıdan bir kuantum olayına müdahale sistem ile ilgili bir ölçme işlemi sürecinde yaşanır.

Şimdi ışığın şiddetini elektronun yörüngesinde değişikliğe meydan vermeyecek kadar düşürülebileceğini kabul edelim ve olayı bu kabul altında tekrar inceleyelim. Bu durumda fotonlar elektrona çarptıklarında elektron yolundan sapmaz. Bu önleme rağmen yi-

ne klasik fizikte karşılaşmadığımız bir durum ile karşılaşırız. Önceki bölümlerde belirttiğimiz gibi, ışığın şiddeti frekansı ile orantılıdır. Elektronun hareketi esnasında konumunda ve hızında değişime neden olmamak için foton enerjisini düşürmek, frekansını düşürmek demektir. Frekans düşünce dalga boyu uzar. Üzerine ışığı düşürüp yansıtarak hakkında bilgi edinmek istediğimiz sistemin boyutları ile ışığın dalga boyunun aynı mertebede olması gerekir. Örneğin optik mikroskoplar ile canlı hücrenin ince yapısı hakkında bilgi edinmek olanaklı değildir. Çünkü görünür ışığın dalga boyu hücrenin ince yapısından çok büyüktür. Yani görünür ışık dalga boyundan daha küçük yapıları görmez ve hakkında bilgi aktaramaz. Burada da aynı olay meydana gelir: elektronun yolundan sapmasını önlemek için ışığın şiddetini düşürdüğümüzde dalga boyu uzar ve elektronun üzerine gönderilen ışık elektronu görmez, konumu hakkında bir bilgi vermez. Diğer bir ifadeyle elektronu görüntüleyemez, elektron her yerde bulunabilir.

Yüksek frekanslı ışığı elektrona yöneltirsek, dalga boyu kısa olacağından elektronun konumu hakkında bilgi edinebiliriz. Ancak önceki paragrafta aktardığımız gibi, yüksek frekanslı ışıkta tanecik karakteri baskın hâle gelir. Işık demetini oluşturan fotonlar elektrona çarparak enerjisini elektrona aktarır. Bunun sonucu olarak elektronun hızı değişir. Burada klasik mekanikte karşılaşmadığımız bir durumla karşılaşırız. Atomik boyutlarda bir elektronun konumunu kesin olarak saptanmak istenirse, elektronun hızı hakkındaki kesin bir bilgi elde edilemez. Tersine elektronun hızı hakkında kesin bilgi elde etmek istenirse konumu hakkında bir bilgi elde edilemez, elektron her yerde olabilir.

Bu ilkeye "Heisenberg Belirsizlik İlkesi" denir. Bir elektronun konumu ve hızı aynı anda aynı hassasiyetle ölçülemez. Kuantum mantığı bu ilke üzerine tasarlanmıştır.

Klasik mekanikte veya diğer bir ifadeyle günlük yaşantımızın geçtiği boyutlarda böyle bir gariplik ile karşılaşılmaz. Yukarda belirtildiği gibi Ankara'dan İstanbul'a giden bir otobüsün veya bir uçağın her an konumu ve hızı aynı hassasiyet ile ölçülebilir.

Bir kutu içerisinde bulunan tek bir elektronu göz önüne alalım. Bu sadece bir düşünce deneyidir. Elektronu elinden tutup bir kutunun içine koymak mümkün değildir, ancak koyduğumuzu düşünebiliriz. Buna teknik olarak imkân yoktur ancak böyle bir durumu tasarlayabilir ve akıl yürütebiliriz. Elektron kutunun duvarlarından yansıyarak hareketini sürdürür. Şimdi kutuyu küçülttüğümüzü düşünelim. Kutu küçüldükçe elektron duvarlara daha çok sayıda çarpar. Öyle bir duruma gelir ki, bir o duvara bir bu duvara çarpan elektron ölçülemez hızlarda hareket etmeye başlar. Dolayısıyla kutuyu küçülterek elektronun konumunu kesin olarak belirlemek istediğimizde hızı ile ilgili bilgileri kayıp ederiz. Böyle bir deney yapmak, yukarda belirttiğimiz gibi, teknik olarak mümkün değildir, ancak tasarlamak mümkündür. Sonuç: Heisenberg ilkesinin mantıken de doğru olduğudur.

Belirsizlik ilkesi mikroskobik evrende enerji ve zamanın, küçültülen kutuda elektrona benzer hareketler yaptığını söyler. Örneğin atomik boyutlarda bir kutunun içi boş dahi olsa içerdiği enerji belirlenemez. Şimdi hemen, haklı olarak, "İçi boş bir kutu enerji içerir mi?" sorusunu yöneltirsiniz. Önemli olan enerjinin olup olmadığı değil, belirlenip belirlenemediğidir. Bu boyutlarda enerji kararlı değil oynaktır, değer olarak artıkça bu değerde kalma süresi kısalır. Nasıl konum belli olduğunda hız, hız belli olduğunda konum belirlenemiyorsa, enerji ve zaman ikilisi de aynı belirsizlik kuralına uyar. Elektronun duvarlardan yansıması gibi, belli bir değerde anlamlı bir süre kalamaz. İçi boş kutudaki enerji değeri yükselirken, uzayın bu küçücük bölgesi, evrenin geri kalanından enerjiyi borç alıyor sonrada sanki geri veriyor gibi durum yaşanır. Burada baş aktör, atomik boyutlarda boş uzay bölgesidir. Bu uzay, yani hacim (yani kutu) boş

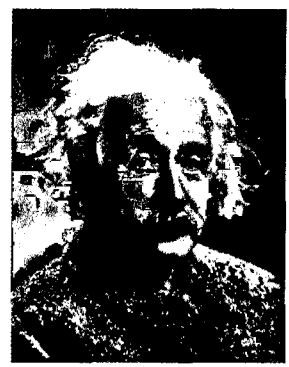
bile olsa (Burada boş olmak içinde kütle taşıyan bir parçacığın olmadığı anlamına gelir.) enerji içermektedir. Bu klasik mekanikte karşılaşılmayan bir durumdur.

Heisenberg belirsizlik ilkesi gerçeğe ne kadar ulaşabileceğimizin sınırlarını mı çizer; yoksa gerçeğin ifadesi midir? Bu sorunun yanıtını kendiniz bu kitabın satırları arasında bulacaksınız.

Kütle ve kütle arasındaki ünlü $E=MC^2$ Einstein denklemi her an kütle taşıyan bir parçacığın yaratılabileceğini söyler. Elektron ve anti parçacığı pozitron (her iki parçacıkta kütle içerir) birbirlerini yok ederek ışık enerjisine dönüşür. Buna "çift yok olma" denir. Klasik fizikte böyle bir olay ile karşılaşılmaz. Kütle enerjiye dönüşmüştür. Benzer şekilde ışık bir pozitron (pozitif yüklü elektron) elektron çiftine, yani maddeye dönüşür. Bu olaya da "çift yaratma" denir. "Çift yok olma" ve "çift yaratma" olaylarında ışıma kütleye, kütle ışımaya dönüşür. Klasik fizikte yani makroskopik boyutlarda bu tür olaylara rastlanmaz. Kütle ve enerji arasındaki bu dönüşümler mikroskopik boyutlarda meydana gelir ve klasik fizik kanunlarıyla açıklanması mümkün olmayan doğa olaylarıdır. Atom bombasında da kütle enerjiye dönüşür. İnsanlık bu kütle enerji arasındaki dönüşümü iki yüz bin masum insanın hayatı ile anlamıştır.

5
Kuantum Fiziği: Hayal mi Gerçek mi? Bilim Tarihinin En Uzun Süren Tartışması

Einstein bütün ömrü boyunca gelenekçi klasik fiziğin savunuculuğunu yapmıştır. Ona gönülden bağlıdır. Bir nesnenin veya bir olayın gerçek olabilmesi için uzay-zamanda bir konumunun, yani bir yerinin ve ölçülebilen fiziksel büyüklüklerinin olması gerektiğini söyler, bundan da ödün vermez. Kuantum fiziğinin emekleme döneminde Einstein ve de Schrödinger de dâhil gelenekçi fizikçiler, gerçeğin klasik fiziğin tanımına uygun davrandığında ısrarcı olmuşlardır. Kuantum fiziğinin bebeklik döneminde bundan da pek vazgeçeceğe benzemiyorlardı. Bebeğin ağlamalarından çok rahatsız oldular, onu susturmak istediler. Şimdi bu garip bebeğin yaşam öyküsü anlatılacaktır. 1930 yılında toplanan ünlü *Solvay Konferansı*, gerçekleri klasik fizik çerçevesi içinde görenler ile bu çerçeveyi genişleten kuantum fizik taraftarları arasında geçen ateşli tartışmalara sahne olmuştur. Bir tarafta kuantuma inançla bağlı olanlar diğer tarafta gelenekçiler. Tartışmalar, kitabın en başından itibaren yanıtını aradığımız, "Gerçek nasıl davranır?" sorusu üzerine odaklanmıştır.



Resim 16: *Albert Einstein (1879-1955).*

Kuantum fiziği doğanın gerçeklerini eksiksiz yansıtan bir teori midir?

Einstein'ın bu önemli ve derinliği olan soruya verdiği yanıt:

Koskoca bir hayırdır.

Bu bölümde insanlık tarihinin en hızlı düşünebilen iki dehası arasındaki tartışma aktarılacaktır: Albert Einstein ve Niels Bohr. Konferansta tartışılan konular sadece kuantum fiziğinin değil insanlığın geleceğini belirlemiştir. Yirmi birinci yüzyıla damgasını vuran bilgi çağının entelektüel altyapısını kuantum fiziği oluşturmuştur. Gelecekteki tüm gelişmelere kuantum fiziği damgasını vuracaktır. Fizyolojiden felsefeye, ekonomiden sosyolojiye kadar tüm bilim alanları kuantum fiziğinde üretilen kavramlardan ve yöntemlerden yararlanacaklardır. Bundan kimsenin şüphesi olmasın. Kuantum fiziğinin günlük yaşantımıza getirdiği momentum aradan geçen seksen yıl sonra, insan aklının nelere kadir olduğunu göstermiştir. Bu iki dev fizikçi ve taraftarları Solvay Konferansında karşı karşıya geldiler; heyecan doruktadır.

Resim 17: *Niels Bohr (1885-1962).*

Bohr, şöhretinin zirvesinde bulunan Einstein'a karşı çıkar ve kuantum fiziğini savunur.

Bohr, Einstein'ın düşüncelerinin tam aksini savunur:

Kuantum fiziği gerçeği evrensel boyutlarda açıklayan bir teoridir.

Einstein'ın özel ve genel görelilik kuramının evren dinamiklerini ve kozmolojik gelişmeyi gözlemlere uyumlu olarak vermesi, o dönemin en önemli bilimsel başarısıdır. Kuramın tasarımcısı Einstein, toplumun gözünde bir ilahtır, üç yüz yıl önce Newton neyse, o da odur. Sadece bilim tarihinin değil insanlık tarihinin en büyük başarılarından birine imza atmıştır. Onu yirminci yüzyılın en önemli kişisi yapan bu başarıdır. Seçimi yapan jüri, ne ikinci dünya savaşının popüler simgesi Churchill'i ne Marksist devrimi siyasete yansıtan Lenin'i göz önüne almamıştır.

Einstein, haklı bir gururun sahibidir. Uzaya ve zamana anlam kazandırmıştır. Bu yadsınmayacak bir başarıdır. Fiziği Einstein'dan önce ve sonra diye ikiye ayırmak bile mümkündür. On dokuzuncu yüzyılın gelenekçi fizikçilerine karşı müthiş bir zafer kazanmıştır. Bir devrimcidir. Bu başarıdan sonra o artık toplum gözünde İsviçre Patent Ofisinde çalışan mütevazı bir memur değil, parlayan bir yıldızdır. Saygın bir bilim adamıdır. Ona fizik konularında karşı çıkmak bir cesaret işidir.

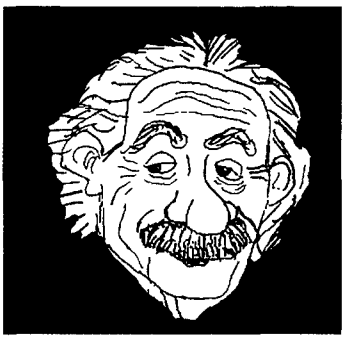
Resim 18: *Niels Bohr ve Albert Einstein.*

Bilim insanları ona buna kul köle olmazlar, kafalarında takıntıları yoktur, önyargı taşımazlar, her şeyi sorgularlar. Sanatçılar gibi özgür düşünen insanlardır. Einstein karşısına, Solvay Konferansında onun tüm şöhretine rağmen kendisine güvenen bir kahraman çıkıvermiştir. O kahraman ortaya attığı hipotezler ile hidrojen tayfında gözlenen tüm kesikli enerjileri açıklayan Bohr'dan başkası değildir. Konferans boyunca bu ikili arasında bir bilgi ve zekâ yarışı yapılmıştır. Einstein'ın mağrur kendinden emin hamlelerine karşı, Bohr usta bir satranç oyuncusu gibi her hamlesini düşünerek yapmıştır. Konferansı izleyen o dönemin tanınmış teorik fizikçisi Ehrenfest, Bohr'u ve Einstein'ı şöyle anlatır: "Bohr felsefi konulara girmeden tartışmayı somut düzlemlere taşıyarak kısa zamanda ilgi odağı hâline geldi."

Bohr bir teorik fizikçi olduğu kadar, felsefe, edebiyat, resim, müzik gibi yaratıcılığın temel olduğu kültür alanları ile ilgilenen tam bir entelektüeldir. Onun için düşünmek nefes almak gibi bir gereksinimdir. Nobel ödülünden aldığı para ile sakin bir köyde ev satın almış zamanının büyük bir bölümünü çok sevdiği evinde düşünerek geçirmiştir. Algıların ötesinde aşkın bir gerçeğin var olduğuna inan-

mıştır. Sanat ve bilimin bu gerçeğin peşinden koşması gerektiğine yürekten inanır. Bohr atom modeli de böylesi aşkın, bir gerçeğin dışavurumudur. İnsanlığın yetiştirdiği bu iki seçkin entelektüel arasında geçen tartışma zaman aşımına uğramayacak bir kültürel değerdir. Şimdi bu tartışmayı ana hatları ile aktaracağız.

Einstein, kuantum kuramının belirsizlik ilkesi bağlamında çökertileceğinden emindir. Klasik fizik geleneğine sadık fizikçiler, belki de Einstein'ın o günkü şöhretinden etkilenerek, gerçeğin kendisini uzay-zamanda konuşlandırarak gösterdiğini kabul etmiş olabilirler. Bu kabul onları belirsizlik ilkesinin saçma olduğu sonucuna götürür. Genel ve özel göreliliğin başarılı kuramcısı Einstein kendisinden emin tavırlarla ustası olduğu bir düşünce deneyi önererek belirsizlik ilkesinin geçersizliğini kanıtlamaya çalışır. Salonda ne söyleyeceğini merakla bekleyen dönemin en seçkin bilim insanlarına dönerek:



Beyler, içi foton gazı dolu bir kutu (dışarıya ışık sızdırmayan içi aydınlık bir kutu) düşünelim. Kutunun çok hızlı açıp kapanan çok küçük birde deliği olsun. Bir an için deliği açalım, foton dışarıya çıkmaz mı? Evet çıkar. Tam çıkarken konumu bilinir mi? Evet bilinir. Deliğin açılıp kapanış hızı ölçülür mü? Evet ölçülür. Buna göre fotonun hem konumu hem de hızı, ilke olarak ölçülmüş olur. Belirsizlik ilkesi ise ölçülemez diyor. Siz ne dersiniz? Bu basit akıl yürütmeyi yanıtlamak mümkün mü? Bana göre hayır.

Bohr şoke olur. Böyle bir darbe beklemiyordu. Einstein onu, ustası olduğu minderde güreşe zorlamıştı. "Einstein, Einstein," diye bağırıp durdu; o an söyleyebileceği bir şey yoktu. Kendisine, Einste-

in kadar güvenen, tezinin doğruluğuna inanan Bohr o gece sabahlara kadar uyumadı düşündü, o günkü oturumda gözlerini dinleyicilerden ayırmayarak Einstein'a aynı üslup ile yanıt verdi.

Beyler, Einstein gibi içi foton gazı dolu bir kutu düşünelim. O küçücük deliği hızlıca açıp kapayarak bir fotonu dışarı çıkaralım. Foton bir enerjidir, yani özel görelilik kuramına göre maddeye eşdeğerdir. Dolayısıyla foton kutuyu terk ettikten sonra kutunun kütlesi yani ağırlığı azalmıştır. Buna itiraz eden var mı? Yok. Bunu ölçebilecek bir teraziniz var mı? Yok. Şimdi Einstein'ın önerdiği düşünce deneyi mantığını kutuya uygulayalım.

Bu mantığa göre kutu ve deliği açıp kapatan düzenek belirsizlik ilkesine uymaktadır. Aksini düşünebilir misiniz? Einstein, bir olayın gerçek olması için uzay-zamanda bir konumunun olması gerektiğini ileri sürüyor. Şimdi bende size bir düşünce deneyi sunuyorum. Bir kutu içinde bir miktar gaz bulunsun. Gazın hacmi, basıncı ve sıcaklığı ölçülebilen büyüklüklerdir ve gerçektir. Bütün bu değerler gaz moleküllerini hareketlerinden kaynaklanır. Şimdi soruyorum her bir molekülün konumunu ve hızını ölçebiliyor musunuz? Hayır. Peki, ölçemediğiniz için moleküllerin gerçek olmadığını ileri sürebilir misiniz?

Dinleyenler Bohr'un Einstein gibi bir dev karşısındaki duruşunu ve Einstein'ın önerdiği düşünce deneyinin mantığını, onun özel görelilik teorisine dayanarak çürüttüğüne şahit oldular. Bohr kürsüde mütevazı tavırlarını sürdürerek Einstein'a bakıyordu. Salondakiler ise gözlerini bir Einstein'a bir Bohr'a çevirerek bundan sonraki diyalogu tahmin etmeye çalışıyorlardı. Einstein yenilmişti. Tartışmaların bir tarafı Einstein diğer tarafı Bohr, Barcelona-Real Madrid karşılaşması gibi seyretmeye ve anımsamaya değer bir an.

Burada anımsattığımız tarihi olay tartışmalara ayrıca siyasi bir renk katmıştır. Kuantum fiziği hakkında Avrupa'da fırtınalar koparken siyaset çok gergindir. Almanya'da Yahudi düşmanı olan Na-

ziler iktidardır. Tartışmaların odağında ünlü bir Yahudi olan Einstein ve onun karşısında Hitler hayranı olduğu bilinen Heisenberg vardır. Solvay Konferansında bu iki ünlü fizikçinin kuramları karşı karşıya gelmiştir. Yaşam bu iki ünlüyü daha sonraları da karşı karşıya getirmiştir. Ardından on beş yıl geçtikten sonra, İkinci Dünya Savaşı'nın en ateşli çarpışmalarının yapıldığı 1941 yılında Heisenberg, Kopenhag'a Bohr'u ziyarete gider. O dönem Nazilerin atom bombası üzerinde çalıştıkları bilinmekteydi. Hitler yaptığı konuşmalarda bu bomba ile dünyayı tehdit ediyordu. Bu iki ünlü fizikçi arasında yapılan konuşmalar sır olarak kalmıştır; ne konuştukları bilinmez. Kimileri Heisenberg'in Nazilerin üzerinde çalıştıkları atom bombasına bir sabotaj teklif ettiğini, kimileri de projenin bir an önce bitirilmesi için Bohr'dan yardım istediğini iddia ederler. O buluşmada neler olduğu bilinmemektedir ve bilinmeyen olarak da kalacaktır. Aynı tarihlerde ise Einstein, Amerika Birleşik Devletleri'ne göçmüş, yemin ederek Amerikan vatandaşlığına geçmiş ve Princeton İleri Araştırmalar Enstitüsünde çalışmalara başlamıştır. Başkan Roosevelt'e tarihe geçen bir mektup yazarak Nazilerin atom bombası yapmakta olduklarını, Amerika'nın bu bombayı onlardan önce yapması gerektiğini bildirmiştir. Kendisinin bilime kazandırdığı $E=MC^2$ formülünün bir uygulaması olarak bu bomba imal edilmiş ve Hiroşima ve Nagazaki'de iki yüz bin masum insanın hayatına mal olmuştur. Siyasetin bilime karışması hep felaketlere neden olmuştur. Bu hikâyeyi burada bırakarak tekrar fiziğe dönelim.

Deneysel fizikçiler olasılık fonksiyonunun ölçülen büyüklük hariç diğer durumlar için neden çöktüğünü ve sistem hakkında neden yalnızca ölçülen büyüklüğün bilgi verdiğini anlamaya çalışmışlardır. Bohr'un "Kopenhag Yorumu" olarak bilinen açıklaması bir yerde olasılık dalgasının neden çöktüğüne yanıt niteliğindedir. "Bu açıklama, tartışmalar son verdi mi?" sorusunun yanıtı hayırdır. Bu hayır cevabına rağmen, kuantum fiziğinin bilim çevrelerinde genel kabul görmesinin nedeni bu yorumdur. Bohr'un, bilim tarihine "Kopenhag Yorumu" olarak geçen düşüncelerini şöyledir.

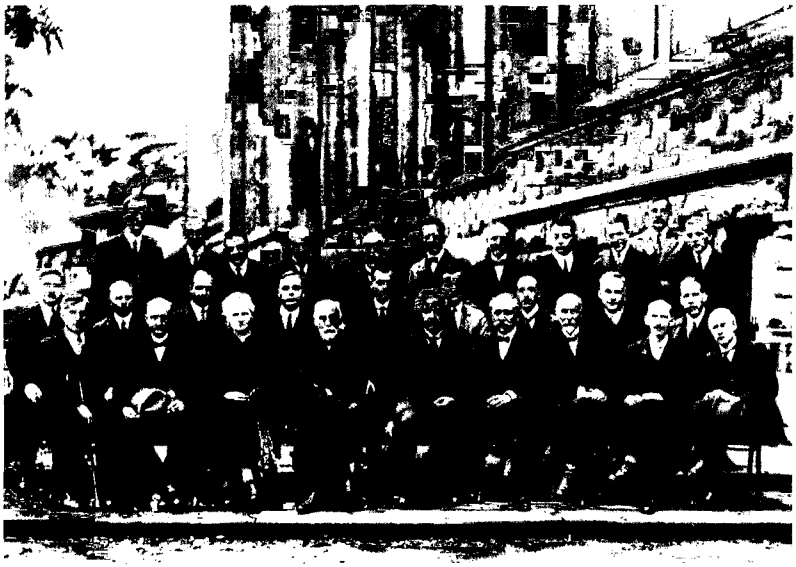
Kuantum fiziğinin "Kopenhag Yorumu"

Evreni anlamak galaksiler gibi devasa boyutlardaki sistemlerin davranışlarını anlamakla sınırlı değildir. Kuantum fiziği klasik fizikten farklı olarak, evrenin atom ve atom-altı boyutlardaki dinamiklerini açıklar. Doğayı oluşturan her bileşen birbirleri ile etkileşim içindedir. Klasik mekanik, bu bileşenlere tek tek bakar ve doğayı gördüklerinin toplamı olarak açıklamaya çalışır. Kuantum mekaniği ise doğaya bir bütün olarak bakar ve bütünü görmeye çalışır. Klasik fiziğin yerel bir kuram oluşu onu kuantum fiziğinden farklı kılar, görüş açısını daraltır. Kuantum fiziği ise yerel olmayan bir kuramdır; bileşenlere değil bütüne bakar. Evreni oluşturan bileşenler arasındaki etkileşim mekanizmalarına odaklanır. Doğanın yerel olmayan özelliklerini açıklar. Bu, evreni yani en büyük gerçeğin nasıl davrandığını anlamanın zorunlu koşuludur.

Amaç kuantum mekaniği dersi vermek değil, günlük yaşantımızın içinde yer alan ve kavramakta zorlanmadığımız olayları anlamanızı sağlamaktır. Kuantum fiziğinin yaklaşımının klasik fizikten olan farkını belirtmektir. Bir nesneyi bir bütün olarak algılayıp bir açıklama yapabildiğiniz gibi aynı nesneyi meydana getiren bileşenleri ele alıp oradan bütüne doğru giderek de açıklama yapabilirsiniz. Burada ilginç olan nesnenin evren oluşudur.

Bohr'u, hidrojenin tayfının Schrödinger denklem çözümlerini vermesi çok etkilemiştir. Kuantum teorisine tutku ile bağlanmasının nedeni budur. Karşısında ise tüm zamanların en büyük fizikçisi Einstein vardır. Bohr Kopenhag yorumu olarak bilinen kuantum fiziğinin temel mantığını konferansta şöyle açıklar:

1. Enerji kesikli paketler hâlinde bulunur buna kuanta denir. Örneğin foton elektromanyetik enerji kuantasıdır.
2. Madde bölünemeyen temel parçacıklardan meydana gelir. Herhangi bir parçacığın herhangi bir konumda bulunma olasılığını dalga fonksiyonu belirler. Dalga veya olasılık fonksiyonu Schrödinger denkleminin çözümüdür.



Resim 19: *Einstein-Bohr (Solvay Konferansı 1927).*

3. Ölçümden önce sistem aynı anda mümkün olan fiziksel durumların tümünde bulunur. Sistemin hangi fiziksel durumda bulunduğunu saptamak için ölçüm yapıldığında mümkün olan fiziksel durumları içeren olasılık fonksiyonu çöker ve sistemi sadece ölçülen durum fonksiyonu temsil eder. Diğer olasılıkları içeren fonksiyonlar sıfırlandığından ölçümde elde edilen sonuç gerçeğin ifadesi olur.

Einstein bu yoruma karşı söyleyecek bir şey bulamamıştır, fakat susmaya da hiç niyeti yoktur. Bohr'un olasılık dalgasına giydirdiği elbiseden fizikte olasılık kavramına yer olmadığına inandığından Bohr'a tarihe geçen ünlü cümlesi ile tekrar seslenir:

Tanrı olayları zar atarak belirlemez.

Bohr'un verdiği yanıt kendisine güvenin bir işaretidir:

"Tanrıya ikide bir ne yapacağını söyleme. Başka bir şey söyle."

Salon sessizliğe gömülür. Tartışma kişiselleşmiştir. Aradan seksen yıl geçmesine rağmen akılda kalan bu diyalog sessiz değildir. Her dilde düşünenlere ders verir. Bilinmeyenleri tanrıya fatura etmenin bir yararı yoktur.

Bohr, küçük bir tekneyle kürek çekerek bilinmeyenler okyanusuna açılan bir dâhidir. Fiziğin Picasso'su gibidir; Picasso nasıl düzlem üzerinde soyut şekillerle yeni bir estetik yani anlamlı bir güzellik aradıysa, Bohr da aynı soyut düzlemde doğanın gerçeğini aramıştır. Gerçeğe, somut elbiseler giydiren Einstein gibi bakmaz. Klasik fizikte bir sistemin durumu, önceleri de belirtildiği gibi, anlamakta güçlük çekmediğimiz konum, hız, basınç, hacim, sıcaklık gibi fiziksel büyüklükler ile tanımlıdır. Buna karşın atomik ve atomaltı boyutlarda bir sistemin durumu, o sistemin tüm ölçülebilen fiziksel büyüklüklerine ait bilgileri içeren bir olasılık fonksiyonu, yani soyut bir matematik bağıntı ile tanımlanır. Picasso'nun soyut resimleri gibidir. Picasso resmine bakar gibi, bu matematiğe bakmasını bilirseniz görünenin arkasındaki saklı gerçeğe ulaşırsınız. Evrenin gerçekleri, soyut matematiksel uzayda kuantum fiziği ile anlam kazanmıştır. İşte bunu kabul etmek o günkü bilim insanlarına çok zor gelmiştir. Günümüzde kimileri bu soyut mantığı kutsala bağlamak gibi bir yanlışlığa düşmektedir. Tanrı neyin ne olduğunu sessizce fısıldıyor, kuantum fiziği bunu duyuyor. Mesele budur.

Fiziksel büyüklüklerin zaman içindeki değişimini yani kuantum sisteminin dinamiğini, olasılık fonksiyonunun, yani o sistem için çözülen Schrödinger denkleminin zaman içindeki değişimi verir. Sisteme ait bir fiziksel büyüklüğün ölçülmesi olasılık fonksiyonundan bu bilginin çekilmesi anlamına gelir. Bu çok önemli bir yorumdur. O dönemde yaşayan binlerce teorik fizikçi mikro kozmos da ölçümün böyle bir eylem olabileceğini düşünememiştir: Bohr hariç.

Klasik fizikte bir fiziksel büyüklük, örneğin Ankara'dan İstanbul'a saatte ortalama seksen kilometre hız yapan bir araç ile ne kadar zamanda gideceğinizi, Ankara-İstanbul arası uzaklığı aracın hızına bölerek hesap edersiniz. Yani bilinmeyeni bulmak için matematiksel bir

işlem yaparsınız. Kuantum mekaniğinde de yöntem aynıdır. Her fiziksel büyüklüğün hesabı, çarpma bölme gibi basit matematik işlemlere benzer işlemler yaparak bulunur. Klasik fizik ile kuantum fizik arasındaki fark, işin içine olasılık fonksiyonu girmesidir. Bir sistemin olasılık fonksiyonu veya dalga denklemi, sisteminin içinde bulunacağı her fiziksel durumu temsil eden dalga fonksiyonlarının toplamı yani üst üste binmiş hâlidir. Toplam dalgayı oluşturan her bileşen, sistemin ölçülebilen bir büyüklüğüne ait bilgileri içerir. Deney bu bilgiyi matematik bir bağıntıdan çeker. Kabul etmekte zorlanılan özellik budur. Akıl tanrının ne dediğini duymuştur.

Kıyıya yaklaşan bir deniz dalgasına bakınız. Uzakta iken dalgayı bir bütün olarak, yaklaştığında ise bütünün çok sayıda farklı dalga hareketlerinden meydana geldiğini görürsünüz. Örneğin Şile'de veya Akçakoca'da deniz kenarında oturup kıyıya yaklaşan dalgalara baktığımızda bu olayı gözlemlersiniz. Olasılık dalgası da deniz dalgası gibi, çok bileşenli dalga hareketlerinin toplamı gibidir. Bu dev Karadeniz dalgalarında, değerli dostum Kaya Tank gibi, yüzecek kadar usta iseniz, attığınız birkaç kulaçta hareketinize karşı koyan akıntıları fark edersiniz. Her akıntı bir bileşenin varlığını hissettirir.

Olasılık dalgası gerçekten deniz dalgalarına benzer. Toplam olasılık dalgası da diğer bileşenlerden bağımsız dalgalardan meydana gelir ve her bileşeni belli bir fiziksel büyüklüğün bilgisini taşır. Ölçüm ise, dev dalgada akıntıları hissetmeniz gibi, fiziksel bir büyüklüğün kadrana yansımasıdır. Bir sörfçü hangi dalga üzerinde hareket ediyorsa o dalga ile iletişim hâlindedir. Kuantum fiziğinde ölçüm buna benzer. Sörfçüyü hareket ettiren dalga sörfçü için önem taşır. Olasılık denizinde sörf yapıyorsanız hangi fiziksel büyüklüğe karşı gelen dalganın, yani bütünü oluşturan hangi bileşenin üstünde iseniz, onu temsil eden fiziksel büyüklüğü ölçersiniz. O sizi, siz onu tanırsınız. Dalgalı denizlerde sörf yapmak olasılık denizinde ölçüm yapmaya benzer. Sörfçü için her an, onu hareket ettiren dalga önem taşır. Ölçme yapan fizikçi için de ölçme yaptığı fiziksel büyüklüğü temsil eden olasılık dalgası önem taşır. Olasılık dalgasının diğer bi-

leşenleri ölçüm yaptığınız anda artık yokturlar. Yani olasılık denizinde tek bir dalga hareket hâlindedir.

Ölçüm ile ilgili akla uygun gelen çok sayıda yoruma rağmen, olasılık dalgasındaki diğer bileşenlere ait dalga fonksiyonlarının çöküşünü ifade eden bir matematik bulunamamıştır. Kopenhag yorumunun zayıf halkası budur. Kuantum ölçüm problemine 1970 yılına kadar tatmin edici bir açıklama yapılamamıştır. Olasılık dalgalarının çevrenin etkisi ile uyumsuz hâle gelişi, yani dalga tepeleri ve dalga karınlarını düzgün bir şekilde birbirlerini izlemesinin bozularak karmakarışık bir hâl alması, olasılık fonksiyonunun neden ölçüm yapılan büyüklük dışında sıfırlandığını açıklar. Bu durum ilerde uyum bozan dalgalar başlığı altında incelenecektir.

Burada da tanrının fısıltılarını insan kulağına olasılık dalgaları getirir. Önemli olan bunu duyabilecek kulağa, görebilecek göze, takdir edebilecek akla sahip olabilmektir. Gerçeğin türküsünü, soyut denizlerde kendine özgü bale figürleri yaparak kıyıya çarpan dalgalar söyler. Bu soylu raksın müziği Çaykovski'nin *Kuğu Gölü* müziği gibi çekicidir, notaların uyumu yüksek bir kaliteyi temsil eder. Olasılık dalgası kıyılara değil insanın idrakine seslenir.

Belirsizlik ilkesine göre parçacığın konumu kesin olarak ölçüldüğünde hızı (momentumu) ölçülemez, hızı (momentumu) ölçüldüğünde konumu ölçülemez. Dolayısıyla klasik fiziğin aksine bir parçacığın konumu ve momentumu aynı anda ölçülemez. Ölçü aletlerinin ölçüm sürecinde kaçınılmaz olarak sisteme müdahale etmek gibi bir durumda bulunması, atomik boyutlarda ölçü almayı sınırlar. Doğanın bu mantığı yani gerçeğin davranışı, daha önceleri de belirttiğimiz gibi, size çok garip gelebilir. Ancak olaylara kuantum fiziği gözlükleri ile bakmaya alıştığımızda, deneylere yansıyan garipliklere şaşırmazsınız. Doğanın gizemleri bağlamında kuantum fiziğinin öngördüğü yeni kavramlar olasılık dalgası veya fiziksel büyüklüklerin kesikli olması veya belirsizlik ilkesi ile sınırlı değildir. Bunların hiçbirinin klasik fizikte karşılıkları yoktur. Şimdi bu gariplik-

lerden birini daha aktaracağız. Solvay Konferansı çok gerilerde kalsa da, Bohr ve Einstein arasındaki tartışma günümüz fiziğine de yeni heyecan ve yeni kuramlar katmaktadır. Kuantum bilgisayarlar, kuantum kriptoloji, kuantum hesaplamaları, kuantum teleportation bu yeni heyecanlardan bazılarıdır. Bunların neler olduğunu ileride açıklayacağım.

Yeni bir keşif yapıldığında, bunu mutlak bir kavramsallaştırma süreci izler. Kavramlar keşiflerin anlatım formatlarıdır, içerikleri bilimin kalp atışlarıdır. Düşünceler dünyası kulaklarını dayayarak bu anlamlı tik takları duymaya çalışır. Nedensellik her sonucu bir nedene bağlayan akli bir ilkedir. Bir başka ifadeyle neden-sonuç ilişkisidir. Her olayın bir nedeni olması insan aklının bilimsel keşiflere çizdiği bir yol haritasıdır. Nedensiz bir olay düşünülemez. Önemli olan bir olayın nedenini düşünmektir. Bütün kuramlar bu nedeni düşünerek tasarlanır. Yeni bilimsel keşifleri yeni fikir akımları takip eder. Bu ilkenin akli olup olmadığı felsefeyi ilgilendirir. Bilim ve felsefe arasında benzer etkileşimler, varoluş ve varoluşun bilgisi arasındaki ilişkileri problem yapar. Okuyacağınız bölüm, keşiflerin kavramsal tartışmalara nasıl yansıdığının öyküsüdür. Soyut ile somut arasındaki sınırın belirlenmesidir.

Keşiflerle gerçek yeniden tanımlanır. Bunun en çarpıcı örneği Heisenberg belirsizlik ilkesidir. Bilim ve felsefe arasındaki ilişki, gerçek ve kavram arasında yüzyıllardır süren bir diyalektiği yazmıştır. Doğa, uzay-zaman ve nedensellik gibi temel kavramların içini bilimsel keşiflerin yorumları doldurur. Einstein düşünce deneyleri, genel ve özel rölativitenin temellerini atmıştır. İnsanlık zamanın mutlak olmadığını burada okumuştur.

Einstein kuantum fiziğini de, ustası olduğu bir düşünce deneyi tasarlayarak eleştirmiştir. Kuantum fiziğine soğuk bakmasının nedeni olayların neden-sonuç ekseninde gelişeceğine olan kesin inancıdır. Heisenberg belirsizlik ilkesine itirazı bu noktada yoğunlaşır. Kuantum mekaniğinin gerçeği yaklaşık anlatan bir kuram olduğu-

nu ileri sürer. Gerçeği nesneleri oluşturan taneciklerin hız ve konumlarının bilinmesi olarak tanımlar. Belirsizlik ilkesi ise hız ve konumun aynı anda belirlenemeyeceğini söyler. Bu nedenle Einstein teoriyi eksik bulur.

Burada bir nedenin iki farklı sonuç doğurduğu düşünülebilir. Böyle bir algılama mümkündür. Aynı algılamaya bağlı olarak kuantum fiziğine kutsallık atfeden kimileri çağdaşlık kisvesi altında anlamsız yorumlar yapabilmektedir.

Bir fiziksel sistemin içinde bulunduğu durum bilinirken geleceği hakkında kesin bir şey söylenemiyorsa, işin içine doğaüstü bir gücün, yani tanrının girdiği iddia edilir. Tanrının, bilgisini bizden gizlediğini ileri sürerler. Kimileri de bu bilgi eksikliğinin nedenini gizli değişkene bağlayarak açıklamaya çalışmıştır. Bana göre tanrı yarattığı insandan hiçbir şey saklamıyor. Gizli veya saklı değişken diye bir şey yoktur. Sadece aklımızın henüz ermediği şeyler vardır. Bütün bu sorunlar kuantum teorisine yerel gözlükler ile bakmaktan ileri gelmiştir. İlerde bir teorinin yerel olup olmadığının ne anlama geldiği anlatılacaktır.

Bütün bunlara rağmen *gizli değişkenler*[11] uzun yıllar boyunca ciddi ciddi tartışılmıştır. Kimileri olasılık fonksiyonuna gizli değişkeni temsil eden bir terim ilave etmiştir. Gizli değişkene, ölçüm yapıldığında sistemi temsil eden olasılık fonksiyonuna diğer büyüklüklere ait bilgi içeren bileşenlerini sıfırlama görevi verilmiştir. Olasılık dalgalarının, ölçülen büyüklük dışında kalan bileşenlerinin çökmesini, yani sıfırlamasını, bu dalgaların aralarında yok edici girişim yapmasını, ne olduğu bilinmeyen gizli değişkenin marifetine bağlamışlardır. Gizli değişken saçmalığı kuantum sıçrama ve kuantum gerçeği başlığı altında ileride tartışılacaktır. Olasılık fonksiyonunun çökmesini açıklamak için gizli değişkene ihtiyaç yoktur. Açıklamakta güçlük çekilen bir olayı tanrıya fatura etmenin de bir anlamı yoktur. Atomik boyutlarda hız ve konumu aynı anda ölçemeyişimizin

[11] The hidden variables.

nedeni, tanrının bu bilgileri sakladığı anlamına gelmez. Olsa olsa, atomik boyutlarda ölçü aletlerinin duyarlılığının ölçüm yapabilmek için yeterli olmadığı anlamına gelir.

Şimdilerde doğa olaylarını anlama konusunda yetersiz kalanlar kolayca her şeyi gizlilik bulutuna büründürmesi moda hâline geldi. Bilim-kurgu dediğimiz yani edebiyat türü gizemlere meraklı toplumun beğenisini kazandı. Fakat böyle sihir işi bir değişkenin olmadığı sonunda anlaşıldı. Şimdi artık kimse gizli değişkenlerden söz etmemektedir. Doğa olaylarının açıklamalarını neden sonuç ekseni üzerinde düşünmeyenlerin sayısı hiç de az değildir. Okyanus tayfunlarının sıklaşmasını bile tanrının gazabı olarak değerlendirirler; küresel ısınmayı hiç akıllarına getirmezler. Onlar nedenlere değil sonuçlara bakarlar. Bu bilimsel bir tavır değildir.

Esasında iddia sahiplerinin nedensellik ile araları pek yoktur; inançları itibariyle işin içine tanrıyı sokarlar. Nedensellik mucizeleri dışlar. Mucizelere tutkun çok sayıda insan vardır. Ülkemizde de derin nefesli hoca arayışları sosyo-kültürel katmanların üst sıralarında yer alan insanlarda dahi vardır. Taşlar da mucize arayanlar bunlara örnektir. Akıl yürütme, bu gibi ön yargılara uzaktır. Gerçekle pek ilgileri yoktur, bir takım masallara inanmaktan keyif alırlar. Psikolojik bir durumdur, umut etme ihtiyacından kaynaklanır. Olayları aklın süzgecinden geçirerek anlamak için gayret göstermeden, gelişigüzel iddiaları savunurlar. Aralarında, kutsal kitaplarda tespit ettikleri kimi alfabe özelliklerini atom sayıları ile ilişkilendirenler bile vardır.

Klasik fizik, gerçeği, evreni oluşturan tüm nesnelerin konum ve hız bilgisine dayandırarak tanımlar. Nesnelerin konum ve hızları, daha genel anlamda fiziksel özelliklerini ölçtüklerinde gerçek ile buluştuklarını düşünürler. Belirsizlik ilkesi, ölçülen büyüklüklerin ötesinde aynı anda ölçülemeyen büyüklüklerin oluşturduğu bir gerçeğin varlığını ileri sürer. Bu noktada hem Heisenberg'le hem de Einstein'la ters düşerler. Kuantum fizik, klasik fiziğe göre *aşkın ger-*

çeğe[12] giden yolu tarif eder. Gelenekçiler bu tariften pek hoşlanmazlar. Karşıt görüşler o dönem bilim ve düşünce dünyasında fırtınalar koparmıştır. Günümüzde dahi bu fırtına şiddetini azaltarak da olsa devam etmektedir. Burada bu dönem diye birkaç yerde söz ettiğimiz yıllar 1920-1930 ve sonrasıdır. Yani ben daha doğmamışım, belki sizlerin anneleri babaları da daha doğmamıştı.

Kuantum fiziğinin, hidrojen ve en dış yörüngelerinde tek ve iki elektron bulunan atomların tayflarında gözlenen kesikli frekanslarını açıklaması, bilim çevrelerinin kuramı ciddiye almasına neden olmuştur. Atom fiziğindeki başarılarına rağmen kuram ciddi eleştirilerin de hedefidir. Her yeni kuram gibi, kuantum fiziğine yapılan itirazlar da yoğun bir tartışma ortamı yaratmıştır. Belirsizlik ilkesi bağlamında kuantum fiziğine yöneltilen eleştirilerin sınırı geniştir. Heisenberg ilkesine karşı çıkanların savı şudur:

> *Bir tanecik herhangi bir anda belli bir konum ve hıza sahiptir. Belirsizlik ilkesi bu açık gerçeğe sınırlama getirmektedir. Eğer kuantum fiziği, bir parçacığın hız ve konumu aynı anda ölçülemez diyorsa gerçeğin tümünü değil belli bir kısmını veren eksik bir teoridir.*

Yukarıda verdiğimiz bu eleştiride güçlü bir mantık vardır. Bu iddia evrene pozitif bilim gözlükleri ile bakanların da kafasını az çok karıştırmıştır. Bu iki yaklaşımdan hangisi insanlığı gerçek ile tanıştıracaktır? Bu aşamada klasik fiziğin belirleyici (determinist) resmi solmakta, renkler birbirine karışmakta, tablonun yeniden yorumlanması gereği ortaya çıkmaktadır.

Einstein kuantum fiziğini, klasik fiziğe tutkuyla bağlı olması nedeni ile içine sindirememiştir. Bunda haklı olan tarafları vardır. Ge-

[12] Aşkın gerçek: Deneysel olanın ötesinde, duyu deneyimleri ile tanımlanamayan gerçeklik.

nel ve özel rölativite gibi insanlık tarihinin en önemli başarısına imza atmış koca Einstein'a karşı çıkmak onunla tartışmaya girmek öyle kolay bir şey değildir. Her ne kadar Solvay Konferansında Kopenhag yorumu ve Bohr büyük tasvip gördü ise de Einstein ipin ucunu pek bırakacak gibi görünmüyordu. Bu bağlamda kuantum fiziğini derinliği olan bir deney önererek eleştirmiştir. Deneyi 1935'de Einstein ve öğrencileri Podolsky ve Rosen tasarlamıştır; bilim çevrelerince "EPR Deneyi" olarak bilinir. Makale yayınlanınca Solvay Konferansı gibi ses getirmiştir. Şimdi deneyin amacını herkesin anlayabileceği bir dil ile aktarmaya çalışacağız.

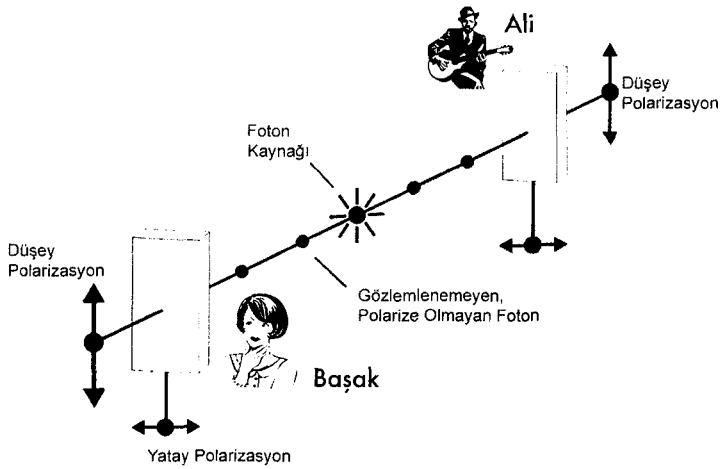
Bu kez eleştirilerin odağı, özel görelilik kuramının ihlal edilmesidir. Klasik fizik bir olaya ait bilgilerin ışıktan daha düşük hızlarda yayıldığını söyler. Yani bilgi taşıyan hiçbir sinyal ışıktan daha hızlı olamaz. Eğer kuantum kuramı klasik mekanik gibi yerel değil ise, evren tümü ile birbirleri ile etkileşen bileşenlerden oluşmuş demektir. Bu daha önceleri de belirttiğimiz gibi kuantum fiziğinin evreni bir bütün olarak görmesinin sonucudur ve insan aklını hayaller dünyasına taşır. Bu durumda hayal ve gerçek arasındaki farkın yeniden tanımlanması ihtiyacı doğar.

Bilim ve doğa arasındaki ilişkileri düzenleyen klasik fizikten çok farklı bir mantığı olan kuantum fiziğini, yirminci yüzyılın en önemli entelektüel başarısı hâline getiren ona olan itirazlardır. Klasik fizik egemenliğini kolayca bırakmamıştır. Egemenlik yarışı tarihin en ilginç tartışmalarına neden olmuştur. Bu satırları okurken kendinize tartışma salonunda bir yer ayarlayın. İnsanlığın kaderini değiştiren gerçeği arama savaşında, tarafların birinin başında Einstein diğerinin başında Bohr vardır: İnsanlık tarihinin iki keskin zekâsı. Burada yenmek veya yenilmek yoktur; gerçeğe ulaşmak veya ulaşamamak vardır.

EPR deneyi

Bu deney dönemin bilim çevrelerince Solvay Konferansının bir devamı gibi algılanmıştır. Taraflar yine kılıçlarını çekmiş kuantum düellosu yeniden başlamıştır.

Atomik ve atom altı boyutlarda ölçüme sınırlama getiren belirsizlik ilkesi, günlük yaşantımızda karşılaştığımız bir elektrik devresinden geçen akımı ölçme işleminden çok daha genel evrensel kuraldır. Kuantum kuramına karşı çıkan EPR grubu ve bu grubu destekleyenler, belirsizliğin kaynağının ne olabileceği üzerinde kafa yormuşlardır. Belirsizliğin genel geçer bir ilke olmadığını bir parçacığı tanımlayan bilgilerin tümünü kuantum fiziğinin veremediğini iddia etmişlerdir. Kuramın tümüne karşı sert tavırlarını yumuşatmışlar ancak yetersiz olduğunu ileri sürmüşlerdir. Bu günde kimi fizikçiler ve felsefeciler aynı iddiayı sürdürürler. İddialarını kanıtlamak için bir deney önermişlerdir. Üzerinde kafa yormuşlardır. Belirsizliğin genel geçer bir ilke olmadığını kanıtlama yoluna gitmişlerdir.



Şekil 14: *Ali'den kilometrelerce uzakta bulunan Başak aletinde hangi eksen üzerinde titreşme ölçüyorsa, yani lazer demeti hangi eksen boyunca polarize olmazsa, Ali de aynı polarizasyon eksenini ölçer. Lazer demetinin ortak kuantum geçmişine sahip olması nedeni ile Başak ne ölçerse Ali de aynısını ölçer.*

Deneyde uyarılmış bir enerji seviyesinden alt seviyelere düşerek ışınım yapan bir atomdan yayınlanan bir demet göz önüne alınmıştır. Işık demeti, basit bir ayna düzeneğiyle birbirine zıt yönde ilerleyen ve her yönde titreşen, yani polarize olmamış iki demete ayrılır. Her ne kadar iki demet hâlinde birbirinden uzaklaşmış olsalar da bunların ortak bir kuantum geçmişleri vardır. Ne kadar uzaklara gitseler de bu geçmişi unutamadıklarını deney göstermiştir. Aralarında binlerce kilometre uzaklık olmasına rağmen bir bütün gibi davrandıkları kanıtlanmıştır. İnsanı şok eden bu kuantum özellik ilerde "kuantum dolanık" başlığı altında incelenecektir. Einstein bu özelliği vurgulayarak kuantum fiziğini eleştirir.

Şekil 14'te gösterildiği gibi, sola ilerleyen demet Başak'ın ve sağa ilerleyen demetin Ali'nin gözlem yaptığı detektörün üzerine düştüğünü kabul edelim. Ali detektörüne düşen ışımanın hangi polarizasyon durumunda olduğunu, yani hangi doğrultuda titreştiğini ölçüm yapmadan bilemez. Polarizasyonun ne olduğu bölüm ikide verilen Şekil 7'de açıklanmıştır; anımsamak isterseniz tekrar bakınız. Detektör yani polarizasyon eksenini ölçen alet okunduğunda fiziksel gerçek belirlenmiş olur. Ölçümden önce ışımayı temsil eden dalga denklemi tüm eksenler etrafında titreşim yapma olasılıklarını içerir. Işık her doğrultuda titreşmektedir. Başak ölçüm yaptığında, Kopenhag yorumuna göre, ölçümde elde edilen eksen doğrultusunda titreşim durumu dışında diğer eksenler etrafında titreşim yapma olasılıkları sıfır olur. Ölçüm diğer olasılıkları sıfırlar yani olasılıklar yok olur. Sadece ölçülen değer not edilmiştir.

Bu iddiayı anlamak için üzerinde düşünmek gerekir. Yukarıda olasılık fonksiyonu ve ölçüm sonucu hakkında kuantum fiziğinin yorumları verilmiştir. *İşin daha da garip yönü, diğer olasılıkların, sadece Başak'ın ölçüm yaptığı konumda değil, tüm evrende sıfırlanmış olmasıdır.* Bu müthiş bir şeydir. İnsanın aklını başından alır. Almıştır da. Ali de ışık demetinin aynı doğrultuda titreştiğini ölçer. Ba-

şak, örneğin şekilde gösterildiği gibi düşey doğrultuda veya düşey ile 30, 45, 60 derece yapan eksenler üzerinde polarizasyon ölçtü ise, Ali de demetin aynı doğrultuda titreştiğini ölçer. Başak Ankara'da, Ali Andromeda Galaksisi'nde de olsa sonuç değişmez ikisi de aynı titreşim ekseni ölçer. Başak'ın yaptığı ölçüm çok uzaklarda olmasına rağmen Ali'nin yaptığı ölçümü etkilemektedir. Başak ve Ali'nin ölçümleri birbirlerinden klasik mekaniğe göre bağımsız olması gerekirken bir etkileşim söz konusu olmaktadır. Bu tanrının sesi midir? Eğer gerçekten bu tanrının sesi ise bunu kuantum fiziği duymuştur.

Şimdi EPR eleştirisini kuantum fiziği açısından değerlendirelim. EPR iddiası şudur. Sağa yönelmiş olan demetin titreşim doğrultusu üzerinde herhangi bir ölçme yapmaksızın sola yönelen demetin titreşim doğrultusunu ölçerek bilinmektedir. İki demet arasında uzun mesafeler olmasına rağmen bilinmeyen bir yöntem ile bilgi alış verişi yapılıyor demektir. Sola yönelen demetin, sağa yönelen demet üzerinde ölçüm yapıldığından ani olarak haberdar oluyor. Hiçbir sinyal ışıktan daha hızlı olamadığına göre Başak'ın ne ölçtüğünü Ali'ye anında taşıyan sinyal ışıktan daha hızlı olduğu anlamına gelir. EPR grubu bunu özel görelilik kuramına aykırı bir durum olarak görür. İlk bakışta gerçekten aykırı bir durum varmış gibi gelir insana. Etkileşimi özel görelilik kuramına aykırı bularak eleştirmek kuantum fiziğinin yerel bir kuram olduğunu kabul etmekle eş anlamlıdır. Düşünemedikleri kuantum fiziğinin yerel olmayan bir kuram olduğudur.

Buna karşın Kopenhag grubuna göre EPR'in özel görelilik ile yaptığı yorum yanlıştır. Bilgi, örneğin elektromanyetik dalgaların ışık hızı ile taşıdığı bilgi başka, bir fonksiyonun sıfırlanma bilgisi başkadır. Elektromanyetik dalgalar bilgiyi enerji formatında taşır. Fonksiyonun çökmesinde ise bir enerji tüketimi söz konusu değildir. Bir fonksiyonun aniden sonlu bir değerden sıfıra düşmesi enerji ile ilgili bir işlem değildir. Dalga fonksiyonun çökmesi bir enerji tü-

ketmediğinden burada bir bilgi veya mesaj iletimi söz konusu değildir. Dolayısıyla kuantum fiziği özel göreliliğe aykırı bir durum ortaya koymamaktadır.

Böylece çok ilginç bir soru gündeme oturur: Ölçülen büyüklüğü temsil eden olasılık dalgası dışında diğer olasılık dalgaları neden aniden sıfırlanmaktadır. Yani olasılık denizindeki dalgalar neden biri hariç diğerleri hareketsiz kalıyor. Deneyi Başak'ın veya Ali'nin yapması neticeyi değiştirmiyor. Her ikisi de demetin aynı doğrultuda titreştiğini ölçüyorlar. Dolayısıyla olasılık dalgasının çökmesine kimin neden olduğu belli değildir.

Şimdi bu neden üzerinde yürütülen tartışmaların bir özetini vermeye çalışalım:

Sonuçlar Einstein beklentisini karşılamadı. Kuantum fiziğini eleştirmek için tasarladığı deney, aradan otuz yıl geçtikten sonra tam aksine, kuantum fiziğinin gerçeği ifade eden bir kuram olduğunu kanıtladı. Solvay Konferansında Bohr, Einstein bütün eleştirilerine verdiği yanıtlar ile şöhretini ve inanılırlığını bilim çevrelerinde yükseltmiş ve kuantum fiziğine itibar kazandırmıştır. Einstein ve Bohr arasındaki tartışma konferanstan sonra da devam etti.

Bir temel parçacığın konumunu ve hızını, parçacık üzerinde herhangi bir ölçme işlemi gerçekleştirmeden, kuantum teorisinin söylediğinin aksine, yani parçacık ile temas olmadan belirlenebilir. Bu kuantum fiziğinin eksik bir kuram olduğunu kanıtlar. On kilometre uzunluğunda dümdüz bir yolun tam orta noktasında biri kırmızı biri yeşil iki araba zıt yönde aynı anda ve aynı hızda hareket etmeye başlasınlar. Örneğin yeşil arabanın beş dakika sonraki konumunu ölçtüğümüzde, kırmızı araba üzerinde bir ölçüm yapmadan konumunu belirleyebiliriz.

Einstein ve grubu aynı mantığı atomik boyutlarda kurgulayarak kuantum fiziğini eleştirmişlerdir. Ancak eleştirilerinin dozu hafiflemiştir; kuramı tümü ile reddetme iddiası eksik olduğu iddiasına dönüşmüştür. Atomik boyutlarda bir parçacık örneğin bir lazer deme-

ti, kırmızı ve yeşil otomobillerde olduğu gibi, zıt yönde aynı hız ile hareket eden iki demete ayrılabilir. Einstein'a göre, geliştirdiği mantığın atomik boyutlarda geçerli olması gerekir. Mikroskobik boyutlarda doğanın gösterdiği bu gariplik, "kuantal dolanık" olarak bilinir. Dolanık olmanın ne anlama geldiği, deney sonuçlarının analiz sürecinde kendiliğinden ortaya çıkacaktır. Belirsizlik ilkesine aykırı olarak hem hızı hem konumu aynı anda ölçülmüş olur. Einstein ve ekibi buna dayanarak Kuantum fiziğinin eksik bir teori olduğunu iddia etmişlerdir. Acaba gerçek öyle midir?

Kuantum mekanik ve klasik fizik arasındaki fark, ikiye ayrılıp zıt yönlerde hareket etmekte olan parçacığın herhangi bir andaki konumu, yeşil ve kırmızı arabanın herhangi bir andaki konumunun belirlendiği gibi belirlenemez. Kuantum fiziğini eksik bir kuram gibi görenler önce bunu kabul etmek zorundadırlar. Bozunarak ikiye ayrılan ve zıt yönlerde birbirinden uzaklaşan parçacıkların hızlarının aynı olduğu bilinir, fakat hızın değeri kesin olarak bilinemez, ancak belli bir olasılıkla saptanabilir. İşin can alıcı noktası budur. Herhangi bir anda zıt yönlerde hareket eden parçacıkların harekete başladıkları noktadan ne kadar uzakta oldukları bilinir, konumu kesin olarak bilinemez, ancak belli bir olasılıkla bilinir. Kuantum teorisi bozunarak zıt yönde hareket eden iki parçacığın arasındaki bağıntıyı verir.

Kuantum fiziği böyle söyler, Einstein olasılık kavramına hiç sıcak bakmaz. Olaylara determinizm gözlükleriyle bakan klasik fizikçilerin probabilistik bir kuram olan kuantum fiziğini benimsemesi kolay olmamıştır. Akıl atomik boyutlardaki gerçeğin davranışlarını ancak belli bir olasılıkla belirleyebilir, doğa bu boyutunda determinist özellik tanımaz. Dolayısıyla kuantum fiziği bir olasılık kuramıdır.

Bütün bu itirazlara rağmen kuantum fiziği gelişimini sürdürmüş, deneyler ile uyumlu sonuçlar veren, matematiksel olarak ifade edilebilen bir kurama dönüşmüştür.

Bu durumda Ali'nin hangi polarizasyon durumunu ölçeceği bellidir.

Gerçekten de Ali, Başak ne ölçüyorsa onu ölçer. Örneğin Başak düşey doğrultuda titreşim ölçüyorsa Ali de titreşimi aynı doğrultuda ölçer. Başak Boston'da, Ali Ankara'da olabilir aralarındaki uzaklık sonucu değiştirmez. Bu şapka çıkarılacak bir olgudur.

Tam bu noktada EPR taraftarları kuantum fizikçilere ölümcül darbeyi indirdiklerini düşünürler. Kaynağın sağ tarafına yönelmiş ışığın titreşim doğrultusunun, hiçbir ölçüm yapmadan sol tarafta ölçülen titreşim doğrultusu bilinmektedir. Böylece düşünce deneyi ile dolaysız bir ölçüm yapılmış olur. Buradan şöyle ilginç bir sonuç çıkar; sağ tarafa yönelmiş ışığın titreşim doğrultusunu ölçmek aynı anda sol tarafa yönelmiş ışığın titreşim doğrultusunun da ölçülmesi anlamına gelir. Sol taraftaki ışınım, örneğin düşey doğrultuda titreşiyorsa, sağ taraftaki ışınımın ölçü yapmadan düşey doğrultuda titreştiği bulunur. Bir sistemi tedirgin etmeden sistemin bir fiziksel özelliği saptanabiliyorsa, saptanan özellik gerçeği temsil eder. Yukarıda aktarılan düşünce deneyinde böyle bir durum tasarlanmıştır. Ali sisteme ait bir özelliği ölçü yapmadan bilebilmektedir. Gerçek Ali'nin bildiğidir.

Bu titreşim doğrultuları ölçüm işleminin yerel olmadığını kanıtlar. Bunu Einstein ve öğrencileri kabul etmemişlerdir. Işınım onlara sanki titreşim doğrultusu ile ilgili bir bilgi taşıyor gibi gelmiştir. EPR grubu ve taraftarları bu noktada kuantum fiziğine olan eleştirilerini yoğunlaştırdılar. Bir noktadan çok uzakta bulunan başka bir noktaya bilginin anında iletildiğini, bu nedenle teorinin yerel olmadığını ileri sürdüler. Onlara göre sinyal ışık hızından daha hızlı hareket etmiş olacağından göreliliğe aykırıdır itirazını tekrarladılar, bu nedenle teori evreni tam bir açıklamasını yapamaz dediler. Einstein görelilik kuramı evreni anlamada bir standart olarak kabul görmüştür. Gerçekten de bir standarttır. Kuantum fiziği ona rakip olu-

yordu, bu olguyu kolayca kabul edemediler. Esasında kuantum fiziği görelilik kuramına bir rakip değil, bir ortak idi. Nitekim o günden günümüze kadar bu iki kuramı birleştirme çabaları sürmektedir. "Kuantum Garaviti" denilen bu problem çözüme kavuşursa çok şey açıklığa kavuşacaktır. Kişisel kanım *Sicim Kuramı* gelecekte bu iki soylu kuramı birleştirecektir.

EPR taraftarlarına göre fiziksel kuramların mutlaka yerel olması gerekir. Kuantum fiziği ise yerel (lokal) bir kuram olmadığından evreni tanımlama bağlamında eksik bir kuramdır.

Bu eleştiriye Bohr ve Kopenhag grubunun verdiği yanıtı analiz etmeden önce yerel (lokal) olaylar ile ilgili basit birkaç örnek vererek yerellik kavramını pekiştirelim. Kulağımıza gelen bir ses dalgası veya belli bir yöreye çığ düşmesi veya bir geminin batması veya bir köprünün yıkılması gibi olaylar yereldirler. İstanbul'da meydana gelen bir trafik kazasının Ankara'da yürüyüş yapan bir insana etkisi düşünülemez. Her iki olayda kendi uzay ve zamanında (lokal) yereldir. Böyle bir akıl yürütme ile elde edilen sonuç klasik fizik açısından kesin doğrudur. Buna itiraz yok. Klasik fizik bütünü açıklamak için bütünü oluşturan bileşenleri tek tek ele alarak bütünü anlamaya yönelir. Bu yaklaşım bileşenler arasındaki etkileşmeleri göz ardı eder. Bunun makroskopik uzayda bir sakıncası yoktur. Ancak fiziksel bir büyüklüğün ölçüm sürecinde, ölçü aleti ile sistem arasındaki etkileşme, büyüklüğün olası değerlerinden gerçek değeri seçmesi yerel olamaz. Tartışmanın akıl karıştıran derinliği buradadır. Bu son cümle ileride çok açık seçik anlaşılacaktır. Şimdilik sadece klasik fiziğin yerellik özelliği üzerindeki ısrarını anlatmak için yazılmıştır.

Uzay ve zaman arasındaki ilişkileri belirleyen özel görelilik kuramına göre, bir noktadan diğer bir noktaya ani olarak bilgi akışı mümkün değildir. Görelilik kuramı uzay ve zamanı bir bütün olarak ele alır. Zaman bu kurama göre mutlak bir büyüklük değildir; zamanı ölçen gözlemcinin hızına bağlıdır. Klasik fizikte ise zaman uzaydan bağımsız mutlak bir büyüklüktür. Kuantum fiziği zamanı mutlak olarak görmez. Tartışma zamanın mutlak olup olmayışın-

dan değil, bir noktada yapılan ölçümün kilometrelerce uzakta bulunan başka bir noktadaki ölçüm değerini etkilemiş olmasıdır. Bilgi akışının ani olması bilgiyi taşıyan sinyalin ışık hızından daha yüksek hızlarda hareket ettiği anlamına gelir. Bu özel görelilik kuramına aykırı bir durumdur.

Einstein: *Belli bir konumda bulunan bir nesne yani bir tanecik, kendisinden uzakta bulunan başka bir taneciğe ne yapılıp yapılmadığının farkında olamaz.*

Bohr: *Belli bir konumda bulunan bir nesne yani bir tanecik, kendisinden uzakta bulunan bir taneciğe ne yapılıp yapılmadığının farkında olur.*

Bunlar taban tabana zıt iki önermedir. Soyut ve somut gerçeğin sınırı bu tartışmanın ayrıntılarında gizlidir. Kuantum mekanik, nesnelerin daha özel anlamda nesneleri meydana getiren temel taneciklerin kendiliğinden iletişim özelliğine sahip olduklarını veya bu özelliğin ölçüm sürecinde ortaya çıktığını kanıtlamıştır. Birbirlerinden uzakta konumlanmış tanecik çiftleri arasındaki iletişime, *Kuantum Dolanık (Quantum Entanglement)* denir. Bu konu bir sonraki bölümde incelenecektir.

EPR taraftarları, tezlerini anlaşılması çok kolay olan konum ve hız üzerine kurgularlar. Ölçüm sadece bir ışınımın titreşim doğrultusu ile sınırlı değildir. Bir parçacığın zıt yönde aynı hız ile hareket eden iki parçacığa ayrılması atom ve temel parçacıklar fiziğinde gözlenen bir olaydır. Şimdi böyle bir durumu göz önüne alarak olayı inceleyelim.

Her iki parçacıkta ortak başlangıç noktasından zıt yönlerde aynı hızda ilerlerken örneğin sağa doğru ilerleyen parçacığın herhangi

bir anda konumunu belirlemiş olalım. Sola doğru ilerleyen parçacığında aynı anda konumunu belirlemiş oluruz. Bu belirleme belli bir zaman aralıklarında tekrarlanırsa parçacıkların yörüngelerini prensip olarak saptamış olmamız gerekir. Aynı akli kurgu, hız içinde geçerlidir. Aynı anda sağa sapan parçacığın konumunu sola sapanın hızını belirlersek, her iki parçacığında aynı anda konumunu ve hızını, dolaylı da olsa, belirlemiş oluruz. Bu ise belirsizlik ilkesine aykırı bir durumdur. Kuantum fiziğini kabul etmekte zorlananlar bu düşünce deneyine dayanarak teorinin atomik boyutlarda başarılı sonuçlar vermesine rağmen eksik bir teori olduğunu evreni açıklamada yetersiz olacağını ileri süreler. Bu tarz bir eleştiriden daha önce de bir başka bağlamda söz edilmiştir.

"Parçacığın konumu ve hızını ölçmeden, dolaylı olarak akıl yürütüp, sonuç budur." demenin bir anlamı yoktur. Bu cümleyi bir kerede daha okuyunuz ve üzerinde düşününüz. Klasik fizikte bile bir sistemin, örneğin basit bir elektrik devresinden geçen akımı ölçmek için devreye bir ampermetre bağlayıp kadrandan geçen akımı okursunuz. Devreye ölçü aletini bağladığınızda sistemi tedirgin etmiş olursunuz. Ancak devreden geçen akım, devreye ampermetre bağlanmadan geçen akıma eşit değildir. Kadranda okuduğun akım devreden geçen akım değildir. Buradan çıkarılan sonuç bir sistemin herhangi bir fiziksel büyüklüğünü ölçmek istediğinizde sistem ve ölçü aleti arasındaki etkileşme gerçek değerin ölçülmesine engel olur. Bu nedenle dolaylı olarak ölçüm hakkında sonuç çıkarmak gerçek ölçümün vereceği sonuç ile hiçbir zaman aynı olamaz. Kuantum mekaniğinde de durum bundan farklı değildir.

Sağ tarafa giden ışınımın titreşim durumunu tahmin etmek gerçek olamaz, gerçek olduğunu iddia etmeniz için, ölçmeniz gerekir. Fanatik EPR taraftarları da aynı mantığı kullanarak, ölçmeden sonuçların bilinebileceğini bu nedenle belirsizlik ilkesinin genel geçer olmadığını ifade ederler. Polemikte o kadar ileri gitmişlerdir ki, Ay'a bakmasak onu görmesek bile gerçek olduğunu biliriz iddiasını bıkmadan tekrarlamışlardır. Onlara göre kuantum fiziği başarılarına

rağmen eksik bir kuramdır. Kuantum fiziğine belirsizlik ilkesi nedeniyle yöneltilen eleştirilerin bir temeli yoktur. Doğa atomik boyutlarda belirsizlik ilkesine uygun davranır.

Kuantum gerçeği ve ölçüm problemi

Kuantum teorisi gerçeğin davranışlarını kesin olarak vermediği, çok sayıda düşünür ve bilim insanının ortak görüşüdür. Esasında gerçek hakkında karar bir teoriye dayandırılarak verilemez. Teorinin matematik ile ifadesinin verdiği sonuçlar deney ve gözlem ile uyuşursa gerçeğin davranışları belirlenmiş olur. Bu bağlamda kuantum teorisi gerçeği arayan matematiksel bir formalizmdir. Dalga fonksiyonunun sunduğu her olasılık farklı bir değere karşı gelir. Atomik veya atom altı sistemi temsil eden dalga fonksiyonu, sistemi oluşturan fiziksel durumları hesap etme olanağı tanır. Ancak olasılıkların gerçek ile ilişkisi bir problemdir. Kimileri, gerçeği kuantum fiziğinin görmesinin mümkün olmadığını iddia eder. Böylece ortaya bir kuantum gerçeği nedir sorusu çıkar. Kuantum sayıları ile belirlenen sistemin durumu, bir gaz kütlesinin durumunu belirleyen örneğin basıncı gibi gerçek midir? Bu soruya klasik fizik gözlükleri ile bakarsanız yanıtınız hayırdır. Kuantum sayıları ile belirlenen sistemin içinde bulunduğu fiziksel durumun, ne kadar gerçeği yansıttığı tartışma konusudur. İlerleyebilmek için öncelikle kuantum fiziğinin tanıdığı gerçek kavramı üzerinde duralım.

Doğa yasalarında, kendi var oluşlarını belirleyen ve ona kural koyan bir özellik yoktur. Örneğin kütle çekim yasası kütle var olduğu için var olmuş değildir. Kütle ortaya çıktığında, örneğin yerküre ortaya çıktığında yani Güneş Sistemi oluştuğunda, Newton çekim yasaları, kütleden yani güneş sisteminden bağımsız bir var olan olduğu için yerçekimi kuvveti yani ağırlık ortaya çıkar. Gezgenler, Güneş etrafında dönerler. Deney neyin var olduğunu ve nasıl olduğunu öğretir. Hiçbir zaman başka bir türlü olmayacağını söylemez. Buna rağmen doğanın bağlı olduğu yasaları mantıksal bir kurgu içinde orta-

ya koyan yani akla dayanan doğa bilimleri vardır. Pozitif hukuk bile mantıksal bir kurgu ile oluşturulduğundan kısmen aklidir. Kuantum fiziği doğa yasalarının bu genel özelliklerini taşır, yani aklidir.

Bir kuantum sistemini oluşturan fiziksel büyüklüklere ait bilgileri içeren olasılık dalgası veya olasılık fonksiyonu, kuantum gerçeğinin yazıldığı kitap gibidir. Schrödinger denkleminin zaman bağımlı çözümleri olasılık fonksiyonunun zaman ekseni üzerindeki değişimini verir. Gerçek, olasılık fonksiyonunun yani matematiksel bir ifadenin, içerdiği bilgi olarak var olandır. Sistemi temsil eden olasılık fonksiyonu, zamandan bağımsız olarak içerdiği bilgiyi, ölçüm sürecinde aletin kadranına aktarır. Soyut matematiksel ifade ölçüm işleminde kendisini gerçek olarak gösterir. Buna *kuantum sıçrama (Quantum Leap)* denir. Gerçeğin bilgisinin matematiksel ifadeden ölçü aletinin kadranına yansımasıdır. Bu aşamada kuantum gerçeğini tanımlamak anlamlı olur. Eğer dalga fonksiyonu ile hesap ettiğin büyüklük, ölçüm ile uyumlu değilse, dalga fonksiyonu gerçeğin bilgisini taşımıyor demektir. Eğer uyumlu ise gerçeğin bilgisine ulaşılmış demektir.

Kuantum fiziğinin olağanüstü başarılarına rağmen bir matematiksel ifadeden gerçeğin ortaya çıkarılması, sihirbazın şapkasından tavşan çıkartması kadar insanlara garip gelmiştir. Matematiksel ifade ile gerçek arasındaki ilişkiler günümüzde dahi tartışılmaktadır. Şimdi bu yorumlardan, bana göre, dikkate değer olanlarını aktaracağız.

1. Bir deney yapmadan önce, örneğin elektronun nerede olduğunu bilemeyiz. Elektron orada, burada veya şurada olabilir; onların hepsi elektronun olası konumlarıdır. Deneyle, elektronun konumu kesin olarak saptanabilir. Ancak Heisenberg belirsizlik ilkesine göre, konumunu bildiğimiz elektronun hızı hakkında en ufak bir bilgiye sahip olmamız mümkün değildir. Deney sürecin-

de elektrona ait elde ettiğimiz konum bilgisi olasılık fonksiyonuna aniden değişiklik olarak yansır. Elektronun hız bilgisi olasılık fonksiyonunda kayıp olurken, konum bilgisi tepe yapar. Fonksiyonun tepe yapması elektronun kesin olarak nerde olduğunu söyler.

2. Hugh Everett'in olasılık fonksiyonunun çökmesini dışlayan çoklu evren veya paralel evrenler yorumu ikinci dikkate değer yorumdur. Olasılık fonksiyonu yani Schrödinger denkleminin çözümü, sistemi oluşturan tüm bileşenlerin bilgisini içeren fonksiyonların toplamı bir süper pozisyonudur; dalgaların üst üste binmesidir. Toplam fonksiyonu oluşturan her bir bileşene karşı gelen fiziksel büyüklüğün farklı evrenlerde, olasılık fonksiyonu üzerinde bir öneri yapmadan, ölçülebileceğini söyler. Çoklu evren Everett'e göre sayılamayacak kadar çok sayıda paralel evrenlerden oluşur. Kuantum fiziğinin çok düşük olasılıkla bilebildiği her fiziksel büyüklük, bu evrenlerden birinde gerçek olarak ölçülür. Görüldüğü gibi burada olasılık fonksiyonunun çökmesi gibi bir mekanizma yoktur. Olasılık fonksiyonunun ölçüm yapılmadan önce orada, burada veya şurada dediği elektron, ölçüm sürecinde elektronun konumu paralel evrenlerin birinde orada, birinde burada, birinde de şurada olarak ölçülür. Bu çok sayıda evrenlerden birinde ben ölçüm yapıyorsam ölçüm, gerçeğin o evrene yani bana ait kopyasını verir. Diğer evrenlerdekilere ait gerçeğin kopyaları, onlar ölçüm yaptıklarında, kendilerine verilir. Sıra dışı olan bu öneri sayılamayacak çoklukta evren gibi kabulü zor varsayıma dayanmaktadır. Bu da ciddi eleştirilerin hedefi olmaktan kurtulamamıştır. Ben kişisel olarak çoklu evren açıklamasını özgün bir fikir olarak görüyorum ancak gerçek anlatılan gibimidir, o başka bir problem. Bu açıklamayı yeterli bulmuyorum. Önemli yararı bilim kurgu yazarlarına ilginç bir alan açmış olmasıdır. Paralel evrenler arasında geçiş kapısı arayanlardan bu evrenler arasındaki savaşlara kadar her şey romanlara konu olmuştur.

3. Kuantum Mekanik kitabı bir zamanlar ODTÜ'de ders kitabı olarak okutulan David Bohm'a ait yorum üçüncü yorumdur. Bohm'a göre atomaltı parçacıklar, makroskopik uzaydaki nesneler gibi hareket hâlinde iken her an bir konuma ve bir hıza sahiptirler. Ancak saklı değişkenler, belirsizlik ilkesine uygun olarak, bu büyüklüklere ait bilgileri perdeler. Belirsizlik ilkesi, atom ve atom altı parçacıklar ile ilgili bilgilere bir sınırlama getirir. Bohm parçacığa ait olasılık dalgasının gerçek oluşunu, parçacığın varlığındaki gerçeklik gibi kabul etmiştir. Bu yorum ise parçacık ve olasılık dalgası ayrı var oluşlar gibi değil birlikte bir bütün var oluş gibi görülmüştür. Olasılık dalgası ile parçacık arasındaki etkileşme parçacığın dinamiklerini belirler, ona yol gösterir. Yorum kuantum fiziğini meydana getiren tüm ilkeler ile uyumludur. En önemlisi klasik fiziğin aksine kuantum fiziğinin yerel olmayan özelliklerini içerir. Nasıl çift yarık deneyinde fotonların ekranda konuşlanacağı yeri elektromanyetik dalga girişimi belirliyorsa burada da parçacığın konumunu olasılık dalgaların girişimi belirler.

Bu ve benzeri yorumları destekleyenler ve ona karşı çıkanlar arasındaki tartışmalar günümüzde de daha yaygın olarak felsefeciler arasında sürüp gitmektedir. Olasılık fonksiyonuna kuantum sistemine ait bilgileri içeren bir matematiksel ifade gibi bakmanın bir inceliği bir kurnazlığı vardır. Fonksiyonun ölçülen büyüklük dışında sisteme ait bilgileri içerecek şekilde sıfırlanması yani çökmesinin nedenlerini açıklama, fonksiyonun gerçek olmadığını iddia ederek geçiştirilir. "Doğa, neden insan farkındalığının bir sonucudur?", "Eğer biz burada olmayıp evreni gözlemeseydik, örneğin dünyayı temsil eden dalga fonksiyonu çökecek miydi?" gibi sorular yöneltirler. Bunlar felsefi öğeler taşıyan sorulardır. Kitabımızın amacını aşar.

Yukarıda verilen ve verilmeyen yorumların ve açıklamaların tümü kuantum ölçüm probleminin ancak bir ucundan tutabilmiş diğer uçları ise boşta kalmıştır. Probleme kesin bir çözüm getirememiş-

lerdir. Hiçbiri olasılık fonksiyonunun çökmesi ile ölçüm arasındaki bağıntıyı eksiksiz açıklayamamıştır. Ne matematiksel bir ifade verebilmişlerdir ne de doğanın ölçülen büyüklüğü tercih etmesinin nedenlerini ortaya koyabilmişlerdir. Son otuz yılda çözümsüz gibi görünen bu problem ile ilgili, kimi sorular yanıtsız kalsa da, çok sayıda bilim insanı ve düşünür tarafından kabul gören bir gelişme yaşanmıştır. İngilizce *decoherence*; Türkçe *frekans uyumsuz dalga* yani *oyun-bozan* veya *eşevresiz dalga* kavramı, kuantum ölçüm problemine ve Schrödinger kedi paradoksuna bir açıklama getirecekmiş gibi görünmektedir.

Günümüzde kuantum fiziğine şüphe ile bakanların sayısı fazla değildir. İşin eğlenceli yanı bilim kurgu yazarlarının kuantum kuramlarına gösterdikleri yoğun ilgidir. Bu ilgi toplumda bir farkındalık yaratmaktadır. Nanoteknoloji bile Eric Drexler'in *Engines of Creation (Yaratılış Makinesi)* adlı bilim kurgu romanından etkilenmiştir. Bilim kurgu edebiyatı ve gerçek bilim arasında ciddi bir etkileşim söz konusudur. Falcılar, kâhinler, gazeteciler, ekonomistler kuantum kuramlarını kendilerine göre, kimi zaman, saçma sapan yorumlasalar bile, belki de saçma değillerdir, bana öyle geliyordur, kuantum fiziği bilgi çağı toplumunun sosyokültürel altyapısını oluşturmaktadır. Entelektüel olmaya denk yeni bir kuantum kültürü doğmaktadır. Bu kitap ülkemizde böyle bir alt yapı oluşturmasına katkı yaparsa işlevini yerine getirmiş demektir.

Uyum bozan dalgalar

Kuantum fiziğine kuramın bebeklik günlerinde dalga mekaniği de denmiştir; böyle bir isim pek de gerekçesiz değildir. Teori gerçeğin öyküsünü dalgalara söylettirir. Onları anlayabilen, gözünde canlandırabilen, düşlerinde görebilen, sesini duyabilen kuantum fiziğini anlamakta zorlanmaz. İşin içine hiç matematik sokmadan sadece çizimler ile dalgaları anlatmamızın nedeni budur. Matematik, mühen-

dis ve fizikçileri ilgilendirir, sizleri değil. Uyum bozan dalgaların kuantum fiziğinin tartışılan problemlerine çözüm getirmesinin nedeni, kuramın sadece atom ve atom altı boyutlarda değil, tüm boyutlarda geçerli olmasıdır. Daha önceleri de belirtmiştik: deneyler kuantum fiziğinin yerel olmayan evrensel bir kuram olduğunun göstermiştir. Bu özellik kuantum fiziğini evrensel gerçeğin alfabesi konumuna sokar.

Christian Dior veya Chanel gibi stilistlerin belirlediği moda anlayışının egemen olduğu ortamlarda yetişmiş hanımlara mini etek giydirmek ne kadar güç ise, gelenekçi fizikçilere olasılık elbisesini giydirmek öylesine güçtür, benim bildiğim kadarı ile daha da güçtür. Nasıl Mary Quant'ın mini eteği, zamanları aşarak moda dünyasının bir değişmezi oldu ise olasılık ve kuantum kuramı da bilim dünyasının bir değişmezi oluvermiştir. Nasıl düzgün bacaklı güzel genç kızlar mini eteğe tutkun oldularsa, hayaller dünyasını zenginleştiren kuantum fiziğine de klasik fiziğin dar kalıpları içine sıkışmış genç beyinler tutkun oldular. Bende kendimi onlardan birisi olarak gördüm.

Klasik fiziğin aşina olduğu olasılık, madeni paranın yazı tura gelişi veya rulette bilyenin 0 ve 36 arasında yer alan oyuklardan birine düşmesidir. Parayı havaya her fırlatışınızda yazı veya tura gelme olasılığı yüzde ellidir. Bilye rulet masasında hızla dönerken oyuklardan birine düşme olasılığı ise otuz yedide birdir. Para havada dönerken veya bilye bombeli eğik düzlem üzerinde dolanırken olasılık, paranın ve bilyenin geçmiş hareketlerinden bağımsızdır; para için yazı veya tura gelmesi yüzde elli, bilyenin belli bir oyuğa düşmesi için otuz yedide birdir. Para havada veya bilye rulet masasında dönerken geçmişini hatırlamaz geleceğini görmez.

Kuantum fiziğinde ise işler farklıdır. Elektron demetleri ile yapılan çift yarık deneyinde, elektron ekran üzerinde aydınlık saçağın bulunduğu yere gider. Para ve bilye ne geleceğini bilir ne de hangi oyuğa düşeceğini bilir, elektron ise nereye gideceğini bilir. Bu bilgiç-

lik, elektronu taşıyan olasılık dalgasının marifetidir. Dalgaların yok edici girişim yaptığı konumları, yani karanlık saçakların yer aldığı bölgelere, hiç uğramaz. Buna karşın kuvvetlendirici girişim yaptığı konumları, yani aydınlık saçakların yer aldığı bölgelerin sanki ev sahibidir. Kuantum fiziğinde olasılıklar geçmişlerini anımsayarak geleceklerini kendileri belirler. Bunun sonucu olarak girişim deseni ortaya çıkar. Elektronun karanlık saçaklara gelme olasılığı çok düşük aydınlık saçaklara gelme olasılığı ise çok yüksektir. Kuantum fiziğinde olasılıkları dalga fonksiyonunun girişimi belirler. Klasik fizikte ise böyle bir belirleme söz konusu değildir.

Çift yarık deneyinde elektronu taşıyan olasılık dalgası oluşma sürecinde bir dış etki söz konusu olursa, yani elektron demeti ekrana düşmeden bir etkileşim içine girerse, ekranda girişim deseni oluşmaz. Bu kuantum fiziğinin hassas bir özelliğidir.

Olasılık dalgası dış etkilere, bilgi kanallarını kapatarak tepki verir.

Bu çok önemli bir cümledir. Bir başka ifadeyle, yani bir dış müdahale yapılırsa elektron nereye gideceğini şaşırır, ekranda konuşlanacağı yer ile ilgili bilgi kayıp olur, yani olasılık dalgaları arasındaki iletişim bozulur. Aralarında iletişimin kapandığı dalgalara *eşevreli olmayan uyumsuz dalgalar (De-coherence)* denir. Uyumsuz dalgalar klasik ve kuantum fizik arasındaki sınırı çizer. Uyumsuz dalga, makroskopik boyutlarda da kuantum fiziğinin yani olasılık dalgalarının geçerliliğini dışlamaz; ancak makro boyutlarda olasılık dalgalarının çevre ile etkileşimleri sonucu uyumsuz hâle dönüştüklerinden, kuantum fiziğine benzer bir olasılığı tanımlayamadığını iddia eder. Fiziksel optikte, girişim deseninin oluşması için kaynaktan yayınlanan ışığın uyumlu olma şartı vardır. Uyumsuz dalgalar yani aynı fazda titreşmeyen ışık bile çift yarık deneyinde girişim deseni vermez. Dolayısıyla ancak uyumlu (coherent) dalgalar girişim deseni verir.

Schrödinger denklemi çift yarıktan geçen tek bir foton için dahi çözüldüğünde girişim deseni verir. Bu klasik fizikte örneği olmayan

bir durumdur. Günlük yaşantımızda karşılaştığımız cisimler izole edilmiş tek bir fotondan çok daha karmaşıktır ve hiçbir koşulda çevre ile etkileşimleri önlenemez. Her şey her şeyle etkileşim hâlindedir. Çalışma masanız, oturduğunuz sandalye trilyonlarca atom ve molekülden yapılmıştır. Bunlar hem aralarında hem de ışık ile yani fotonlar ile etkileşirler. Aynı durum sandığın içinde zehirli gazı bekleyen Schrödinger kedisi ve günlük yaşantımızda karşılaştığımız tüm nesneler için de geçerlidir. Çevremizde gördüğümüz her cisim sürekli olarak güneş ışınlarını oluşturan fotonlar ile etkileşir yani fotonlar karşılaştığı her cisme çarpar ve onları aydınlatır. Ancak güneş kaynaklı fotonlar günlük yaşantımızda karşılaştığımız nesnelere göre çok küçük olduğundan çarptıkları cisimler üzerinde bir değişiklik oluşturmaz. Buna karşın makroskopik yani günlük yaşantımızda karşılaştığımız boyutlardaki cisimlerin kuantum fiziğine göre var olması gereken olasılık dalgalarına etki yaparak onları uyumsuz dalgaya dönüştürürler. Bunun sonucu olarak makroskopik boyutlarda dalgaların girişimi ile tanımlanan olasılık tanımlı değildir. Para havada dönerken olasılık dalgasının etkisi söz konusu olamaz. İçinde yaşadığımız makro boyutlarda olasılık dalgaları bu etkileşmeler nedeni ile atomik boyutlardaki kuantum mantığına sahip değildir. Klasik fizikte olasılık, otuz yedide bir veya yüzde elli gibi istatistiksel bir kavram olarak kalır.

Sandık içinde kaderine terk edilmiş kedi, kuantum fiziğine göre sandık açılmadan önce aynı anda hem ölü hem de canlı olabilir. Olasılık fonksiyonu kedinin hem canlı hem de ölü durumlarını aynı anda içermesi, ilk bakışta eleştiriyi haklı gösterir. Kedinin aynı anda hem ölü hem de canlı oluşunun mantıksal bir açıklaması yoktur. Schrödinger, kendi denkleminin çözümlerinden kaynaklanan bu felaket senaryosu ile kuantum fiziğini tartışılır hâle getirmiştir. Bu senaryo yani Schrödinger kedi paradoksu, yeni teoriyi kabul etmekte zorlananların en çok itibar ettikleri kritiktir. Fakat kuantum fizi-

ği böylesine basit bir mantık hatasına düşecek kadar naif bir kuram değildir. Kedi paradoksunun, yani kedinin aynı anda hem canlı hem ölü olmasına uyumsuz olasılık dalgaları açıklama getirir.

Sandık açılmadan önce, kediyi temsil eden olasılık dalgası fotonların etkisi ile uyumsuz dalga hâline gelir. Uyumsuz dalgaların girişim yaparak kuantum mekaniğine göre bir olasılık tanımlaması söz konusu olamaz. Olasılık dalgalarının girişimi olasılığı tanımlar. Girişim olmadığına göre kuantum mekaniği kedi ile ilgili bir olasılık tanımlaması yapamaz. Bunun anlamı kapak açılmadan önce kedinin hem canlı hem de cansız olması söz konusu değildir. Kuantum fiziğini, böyle bir tahmin yaptığını iddia ederek eleştirmenin haklı bir nedeni yoktur. Çünkü kuantum mekaniğinin tanımladığı olasılık koşulları uyumsuz dalgalar nedeni ile ortadan kalkmıştır. Kedi kuantum fiziğine göre de aynı anda hem canlı hem de cansız olamaz. Canlı veya ölü durumlarından birindedir. Yani ünlü Schrödinger kedi paradoksu uyumsuz olasılık dalgalarını göz önüne almadığı için mantıkla çelişen sonuçlar verir. Paradoks 1970'li yıllarda Heinz Dieter Zeh tarafından makroskopik cisimler üzerine çevrenin etkisi yani uyumsuz olasılık dalgaları göz önüne alınarak çözülmüştür. O dönemde ODTÜ'de kuantum mekanik dersi veren genç bir fizikçi olarak bu problemin çözümüne kafa yormuştum. Dieter Zeh çözümünü okuyunca ben bu kadar basit bir olguyu niye düşünemedim diye çok hayıflanmıştım.

Olasılık dalgalarının, çevre etkisi ile yukarıda açıklandığı gibi uyumsuz hâle gelmesi, uzun tartışmalara neden olan kedi paradoksuna açıklama getirdiği gibi, ölçü problemine yani olasılık fonksiyonun çökmesine de bir açıklama getirmiştir. Acaba uyumsuz olasılık dalgaları, ölçü yapılan fiziksel büyüklük dışında diğer olasılıkları içeren dalga fonksiyonlarının çökmesine yani sıfırlanmasına neden olabilir mi?

Bu sorunun yanıtı bilinç ile karar verme olgusuna dayandırılır. Sayısız ağaç içeren bir ormanı göz önüne alınız. İçinde sedir, kayın, gürgen, ladin, çam gibi çeşitli cinsten ağaçları barındırsın. Ağaçlardan birinin, yıldırım düşmesi veya fırtına gibi bir nedenle yıkıldığını düşünelim. Çok sayıda ağaç arasında o tek bir ağacın yıkılıp yıkılmadığını ancak gözlem yaparak bulabilirsiniz. Gözlem yapmadan ağacın yıkılıp yıkılmadığını bilemezsiniz. Kuantum fiziğinde ölçme yapmak o yıkılan tek ağacı tespit etmeye benzer. Amaç yıkılmayan ağaçlar ile ilgili değildir. O nedenle yıkılmayan ağaçlar veya ölçü, olasılık dalgasındaki diğer seçenekleri ifade eden dalga fonksiyonunu çökertir yani sıfırlar. Olasılık fonksiyonunun sıfırlanması ormandaki diğer ağaçların ayakta kalmasına benzer.

Aralarında Nobel ödülü kazanmış ünlü teorik fizikçi Murray Gell-Mann'ın da bulunduğu bir grup dalgaların uyumsuz hâle gelişinin tarihini de inceleyerek, tartışmalı bir açıklama yapmışlardır. Ancak kuantum ölçme, diğer olasılıkları içeren dalga fonksiyonunun neden sıfırlandığını gösteren matematik bir model bulunmadan problemin tam olarak çözüldüğü söylenemez.

Bell teoremi

EPR ve klasik fizik gerçeği, parçacığın konumu ve hızının aynı anda kesin olarak ölçülmesi, yani uzay-zamanda konumunun belirlenmesi olarak tanımlar. Einstein kuantum fiziğine olan eleştirileri bu gerçek tanımının eleştirisine dayanır. John Stewart Bell ise gerçek tanımını parçacığa ait iki özellik ile sınırlandırmayıp, ikiden fazla özelliği, belirsizlik ilkesi çerçevesi içinde göz önüne alarak tanımlamıştır. Heisenberg ilkesine göre bir parçacığın aynı anda hız ve konumu nasıl kesin değerler alamıyorsa, birden fazla eksen etrafındaki dönme durumları da kesin olarak belirlenemez. Acaba somut gerçek bu soruya nasıl yanıt verir? Temel tanecikler birden fazla eksen etrafında dönme hareketi yapar mı, yapmaz mı? Atomik boyutlar-

da bir sistem, kuantum fiziğine göre birden fazla olasılık ile belirlenir. Gerçek, bu olasılıklardan biri olarak ortaya çıkar. Bu klasik fiziğe kökten ters bir gerçek tanımıdır. Soyut, ölçümden önceki olasılıkların bütünüdür, bu aşamada somut bir gerçek yoktur, ölçümden sonra somut gerçekle tanışılır.

Bu konu üzerindeki tartışmaları ileri götürmeden önce kuantum fiziğinin garip bir özelliği hakkında açıklama yapmak gerekir. Atom, nükleer ve temel parçacık fiziğinde, örneğin elektron veya proton bir nokta parçacık gibi düşünülür. Gerek atom gerek nükleer fiziğe ait gözlenen çok sayıda özellik parçacıkları nokta olarak kabul etmekle çözülmüştür. Bu kabulü kuantum fiziğinin gariplikleri bölümünde anlatmıştık. Burada doğanın bu özelliğine faklı bir bağlamda bakacağız. Sodyum buharının gerilim altında neden sarı, cıva buharının neden parlak ışık verdiğini bu kabul ile açıklarız. Sis lambaları sodyum buharı, fotoğrafçılıkta kullanılan lambalar ise cıva buharı ile doludur. Söylemek istediğim elektronu nokta parçacık olarak kabul etmenin gerçeği yansıtmış olmasıdır. Bu kabul yapılınca sodyum buharının sarı renk, cıva buharının parlak ışık yayması açıklanmış olur.

Burada aklın alamayacağı, klasik fizik çerçevesi içinde açıklanması mümkün olmayan bir durum söz konusudur. Nokta parçacık bir modellemedir. Nokta hacmi olmayan bir limiti temsil eden geometrik bir kavramdır. Kuantum fiziğinin kabul ettiği gibi, şayet temel parçacıklar nokta ise onların da hacimleri olmaması gerekir. Ancak bu kabule rağmen temel parçacıklar bir hacme ve hacmi dolduran kütleye sahiptirler. Ayrıca elektrik yükü bu hacim içinde bir dağılım gösterir. Ayrıca işin en garip tarafı nokta parçacıkların geometrik eksenleri etrafında dönüyorlarmış gibi davranmalarıdır. Hacmi olmayan bir nesnenin ekseni tanımlı değildir. Klasik fizikte eşi olmayan, bu dönme hareketine önceki bölümde belirttiğiniz gibi *spin* denir. Eksen etrafında parçacık sağdan sola döndüğü gibi soldan sağa da dönebilir. Örneğin soldan sağa dönüyorsa parçacığın spini yu-

karı, sağdan sola dönüyorsa spini aşağı olarak tanımlanır. Her iki dönüş yönü farklı fiziksel duruma yani farklı kuantum durumuna karşı gelir. Atom fiziğinde elektronlara atfedilen bu sanal özellik günümüz kimyasını doğurmuştur. Eğer elektronlar yukarıda kısaca aktardığımız özelliği göstermemiş olsaydı bu günkü kimya olmazdı. Dolayısıyla mikroskobik boyutlarda parçacıklar spin özelliğine sahiptirler. Bell teoremi temel parçacıkların spin özelliği göstermesi üzerine kurgulamıştır.

> EPR tezi: *Bir temel parçacığa ait çok sayıda özelliklerden biri,* örneğin *elektronun çok sayıda eksenden biri etrafındaki dönme durumu yani spini ölçüldüğünde, diğer eksenlere göre dönme durumlarının bilgisi silinmektedir. Heisenberg ilkesinin yasakladığı, parçacığa ait özellikleri ölçemiyorsanız, parçacığın bu özelliklere sahip olup olmadığı ileri süremezsiniz. Elektron her eksen etrafında bir dönme yapabilir. Bu durum karşısında, ölçemediğiniz büyüklük, sizin değildir, iddianız gerçek olamaz.*

Burada kuantum fiziğine yöneltilen eleştiri elektronun tüm eksenlere göre dönme durumlarının var olmasına rağmen belirsizlik ilkesinin bu dönmeleri yasaklıyor olmasıdır. Bu klasik fiziğe taban tabana zıt bir görüştür.

John Stewart Bell tek bir eksen etrafında taneciğin dönüyor olmasının ölçülüp diğer eksenler etrafındaki dönme durumlarının, belirsizlik ilkesi nedeni ile ölçülememesinin, diğer eksenlere göre dönmedikleri anlamına gelmediğini kanıtlamıştır. Bu cümleyi tekrar okuyun. Ölçüm yapılmadan önce elektron her eksen etrafında dönüyor demektir. Bunu kabullenmek için fizikçiler çok zorlanmıştır.

Bu gerçekten çok özgün bir bakış açısıdır, bilim adamı olmanın keyfi de buradır. Bir futbolcunun çok zor durumlarda attığı golden aldığı keyif gibidir. Bell, bu düşüncesi ile gizemler kalesine unutulmayacak bir gol atmıştır.

Belirsizlik ilkesi gerçeğe değil ölçümlere sınırlama getirmektedir.

Belirsizlik ilkesinin gerçeğe değil ölçümlere sınırlama getirdiği çok önemli bir yorumdur. Ölçümün ulaşamadığı bir gerçeğin var olduğunu söyler. *Tanrının soluğu işte buradadır*; klasik fizikten farklı bir gerçeğin davranışını tanımlar. Yazdıklarımı anlamak için sadece okumak yeterli olamaz, üzerinde düşünmeniz gerekir. Özellikle kuantum dersi veren hocaların ve öğrencilerin ve de kuantum üzerine fikir yürütenlerin, ayaklarını yere basmaları için kuramın dayandığı temel kavramları özümlemesi gerekir. Bunu yapamadıysanız söylediklerinizve yazdıklarınız boştur. Schrödinger denklemini çözmeniz kuantum mekaniğini bildiğiniz anlamına gelmez.

Bunun en çarpıcı uygulamaları foton spini göz önüne alınarak yapılmıştır. *Spin* veya Türkçesi *dönme*, önceleri belirtildiği gibi atomik boyutlardaki parçacıkların bir özelliğidir. Önceki bölümde parçacıkların spin özelliği çizim ile açıklanmıştır. Bell atomik boyutlarda parçacıkların, özel olarak ışık taneciği fotonunun, bir eksen etrafındaki dönme hareketini yani spin durumunu analiz etmiştir. Daha önce açıkladığımız gibi ışımalar birer elektromanyetik dalgadır. Yüksek frekanslı dalgalar madde ile etkileştiklerinde, yani herhangi bir cismin üzerlerine düştüğünde, cisim ışığı bir tanecik gibi görür, dalgayı değil fotonu yani taneciği görür. Işınım, örneğin x-ışını, maddeye bir tanecik izlenimi verecek şekilde çarpar, bir noktadan diğerine giderken yine dalga hareketi yapar.

Einstein ve Bohr'un ve o dönem yaşayan ünlü teorik fizikçilerin aklına gelmeyen bu ince nokta aradan kırk yıl geçtikten sonra John Stewart Bell'in aklına gelmiştir. Bell'in tezi şöyle ifade edilebilir:

> *Ölçme ve belirleme sınırlarımızın ötesinde ulaşamadığımız bir olgu söz konusu ise, onu ölçemememize rağmen şayet gerçek ise varlığı ile bir fark yaratır. Bu farkı ölçerek ulaşılamayan gerçeğin varlığı hakkında bir yargıya varabiliriz.*

İşte tanrının sesini kulaklarımıza ve aklımıza Bell bu cümleler ile taşımıştır.

Şayet EPR tezi doğru ise yani gerçeğin davranışı sadece onların tanımladığı gibi ise, birbirlerinden uzakta bulunan detektörlerin saptadığı, keyfî bir eksen etrafındaki spin durumunun, belli bir süre içinde %50'den daha yüksek oranlarda aynı çıkması gerekir. Alain Aspect ve grubu 1980'de Bell'in iddialarının doğruluğunu test eden bir deney yaptı. Kalsiyum atomunun, uyarılmış seviyesinden temel seviye düşerken yayınlanan iki foton bir düzenek ile birbirlerine zıt yönde yansıtıldı. Aralarında 13 metre bulunan iki detektör üzerlerine düşürdü: Detektörü aynı spin durumunda olan fotonları ölçecek şekilde ayarlandı. Detektörler üzerlerine düşen fotonların spin durumlarını tümüyle aynı ölçmüştür. Bu bilimsel çevrelerce *Aspect Deneyi* olarak bilinir. Deney fotonların aynı spin durumlarında bulunduğunu söyler. Bu deneyle birlikte EPR'cıların ileri sürdüğü saklı veya gizli değişken iddiası son bulmuştur.

Deneyin verdiği sonuç derinlemesine analiz edilmiştir. Detektörler farklı eksenlere göre spin durumlarını belirleyecek şekilde düzenlenip çok sayıda tekrarlandığında sağ ve sol detektörler %50'den daha yüksek oranlarda uyumlu spin durumu tespit etmiştir. Aynı fotonlar eksen yönü değiştirilmiş detektörlere düşürüldüğünde sağ ve sol detektörler %50'den daha düşük oranlarda aynı dönme durumu vermektedir.

EPR grubunun iddiası doğru olsaydı her eksen etrafında yüksek oranlarda uyumlu dönme durumu vermeleri gerekirdi.

Bunun anlamı her eksen etrafında taneciğin, örneğin elektronun, ölçümden önce dönmekte olduğudur. Şayet detektörler %50'den daha yüksek oranlarda uyumlu spin durumu tespit etmiş olsaydı, parçacığın her eksen etrafında belirli kesin bir dönme durumuna sahip olduğu kanıtlanmış, yani EPR iddiası doğrulanmış olurdu. Ancak durum hiç de öyle çıkmamıştır. Deneyin analizi değil sonuçları kitabın ilgi alanı içindedir. Analiz kuantum fiziği dersi veren hocaların görev alanı içindedir. Bu sonuç nefesleri kesmiştir. Çünkü bi-

lim insanları kuantum gerçeğinde artık tartışacak bir tarafının kalmadığını anlamıştır. Gerçeğe giden yolu kuantum fiziği aydınlatmaya başlamıştır.

Sonuç fizikçileri şok etmiştir. Şimdiye kadar göremediğimiz bilemediğimiz anlayamadığımız bir gerçeğin var olduğu kanıtlanmıştır. Bunun tanrının nefesi mi aklın sesi mi olduğuna siz karar vereceksiniz.

Bu ünlü deney (sonraları çok kere tekrarlanmıştır) kuramın sınırlarını geliştirerek ve yorum yaparak, EPR tezinin kuantum fiziğine karşı geliştirdikleri eleştirilerin yanlış olduğunu, deneysel olarak kanıtlamıştır. Evren atomik boyutlarda EPR öngörüleri ile değil kuantum fiziğinin öngörüleri ile uyumlu davranmaktadır. Belirsizlik ilkesi, var olmadıklarını değil ölçülemezliklerini söyler.

EPR tezinin yanlışlığının deneysel olarak kanıtlanması önemli bir olaydır. Ancak Einstein gibi koca bir usta ve öğrencileri soyut olarak geliştirdikleri tezin neresinde yanlış yapmışlardır, buda başka bir merak konusudur. Koskoca Einstein hiç yanlış yapar mı demeyin. Yanlışsa yanlış üzerinde durmaya değmez demek de yanlıştır. Yanlışlığın yapıldığı noktayı bilmek kuantum fiziğinin derinlerine inmek demektir. Şimdi beraberce nerde yanlışlık yapıldığını analiz ederken kuantum mantığını fiziğin dışındaki konulara da uygulanabilme şartlarının neler olduğu ortaya konacaktır.

Klasik olarak herhangi bir eksen etrafında dönme hareketi, yatay ve düşey eksenler etrafındaki dönme hareketlerinin bir bileşkesidir, yani toplamıdır. Dönme hareketi, örneğin jiroskop dinamiği böyle geometrik bir model ile temsil edilir. Bunu anlayabilmek için topaç hareketini gözden geçirmek yeterli olur. Çocukluğumda topaç döndürme çok yaygın bir eğlence biçimiydi. Şimdilerde oyuncaklar çok değişik. Topaç kendi geometrik ekseni etrafında dönerken eksende kendine özgü bir hareket yapar. Buna biz çocukluğumuzda topaç uyuyor derdik. Olaya biraz daha derinden bakıp dönme ekseninin yatay ve düşey doğrultularda izdüşümünü alsak, sanki topaç bu eksenler etrafında da dönüyor gibi görünür. Diğer bir deyişle dönmenin yatay ve düşey eksenler üzerindeki izdüşümü alınmış gibi bir du-

rum ortaya çıkar. Sadece yatay ve düşey değil tüm eksenler üzerinde dönme hareketinin izdüşümleri vardır. Topaca baktığımızda onun bir eksen etrafında döndüğünü görürüz, diğer eksenler etrafındaki izdüşümlerini görmeyiz. Ancak izdüşümleri sıfır değildir. Temel taneciklerin dönme durumlarını ölçtüğümüzde, topacın nasıl tek bir eksen etrafında döndüğünü görüyorsak, detektörde elektronun tek bir eksene göre döndüğünü ölçeriz. Detektörün elektronun dönme durumunu tespit etmesiyle, yani bir deney yapmasıyla, bizim dönen topaca bakmamız ilke olarak aynıdır. Somut gerçek ölçtüğümüz soyut gerçek dönme hareketinin diğer eksenler üzerindeki izdüşümlerin var oluşudur, geometrik olarak sıfır değildirler. İnanılmaz harika bir akıl yürütme. EPR bunu düşünememiştir.

Belirsizlik ilkesi diğer eksenlere göre bir dönme hareketi yapılmaz demiyor, ölçülemez diyor. Kuantum kavramını anlamak için bu paragrafı birkaç kere okumanız ve üzerinde düşünmeniz gerekir. Heisenberg'in nasıl bir dahi olduğunu fark edersiniz.

Heisenbereg değerli meslektaşım rahmetli Prof. Dr. Fikret Kortel'in doktora yönetmenliğini yapmıştır. Kendisinden onun dehası ile ilgili çok özel anılar dinlemişimdir, özellikle boşluk enerjisi hakkında.

Şimdi fotonun herhangi bir eksen etrafındaki dönme durumunu saat ibreleri veya zıt yönde ölçerek tespit ettiğimizi düşünelim. Belirsizlik ilkesine göre yatay ve düşey eksenler etrafındaki dönme durumunu aynı anda tespit etmemiz olanaklı değildir. Sadece yatay veya düşey eksen üzerindeki değil herhangi başka bir eksen üzerindeki izdüşümü de ölçülemez. Ölçümden önce foton dönme hareketinin diğer eksenler etrafında izdüşümü vardır. Hayır, foton sadece bu eksen etrafında sağdan sola veya soldan sağ dönüyor diyemezsiniz. Ölçüm yapıldığı anda fotonun tüm eksenler etrafındaki dönmesi tek bir eksen etrafındaki dönme değerinde toplanmaktadır. Bu ölçü aleti ile kuantum sistemi arasındaki etkileşmenin bir sonucudur. Klasik fizikte böyle bir etkileşme yoktur. Burada aklınız karışsa da olayları

anlama gayretinizden ödün vermeyin. Atomik boyutlarda doğa bizi gerçekten şaşırtmakta ve aklımızı karıştırmaktadır. EPR tezi olaya klasik fizik gözlükleri ile baktığı için mantıksal kurgusu çok kuvvetli olmasına rağmen hataya düşmüştür. Ancak sonunda insan aklı ne kadar karışırsa karışsın bir düzlüğe çıkmıştır. Şimdi bu düzlüğün yolları anlatılacaktır. Siz de bu düzlükte yürümeye başlayın.

Bu özellik, kuantum fiziğini kavramsal olarak zor anlaşılır bir kuramdır, klasik fizikte bir benzeri yoktur. Bu ilginç kuramı anlamak için gözlerinden klasik fizik gözlüklerini çıkarıp, tasarım yetinize ve düşünce ufkunuza özgürlük biraz da çılgınlık tanımanız gerekir. Son yirmi yıl içinde yapılan çok sayıda deney kuantum fiziğinin böyle ilginç özelliklere sahip olduğunu göstermiştir. Burada klasik fizik açısından kolayca tasarlanamayan ışınım taneciği fotonu ele almanın amacı okuyucuyu, kuantum mekaniğinin kavramsal tartışmaları ile tanıştırmak değil, kitabımızın başında belirttiğimiz gibi gerçeğin peşine takmaktır. *Gerçek nasıl davranır sorusunu atomik boyutlarda yanıtlamaktır.* Fotonun ölçümden önce, aklınıza gelebilecek her eksen etrafında dönme hareketi yapması bir gerçektir. Kimse foton şu eksen etrafında dönme hareketi yapmıyor diyemez. Ölçme işlemi ise diğer eksenler etrafındaki gerçeği yani dönmeyi gerçek olmaktan çıkarıp tek bir gerçeği, yani ölçüm yapılan eksen etrafındaki dönmeyi gerçek ölçü aletine yansıtır. Topaca baktığımızda sadece bir eksen etrafında döndüğünü görmemiz gibi. Bu tanım klasik fiziğin gerçek tanımı ile örtüşmez. Parçacık ölçülen eksen etrafında sağdan sola veya soldan sağa dönüyor olsa da, bunun kuantum fiziğini öngördüğü olasılıklar içinde, gerçek olarak tanımlanması için ölçüm yapılmasını mı bekliyor? Şimdi bu sorunun yanıtını sizler ile beraberce tartışacağız.

Maddesel bir parçacık olan elektron veya ışınım enerji parçacığı olan foton herhangi bir eksen etrafında saat ibreleri veya zıt yönde dönme yapabilir. Hangi yönde ve hangi eksen etrafında dönerse dönsün birim zaman taradığı açı değişmez, yani açısal hızı sabittir.

Belirsizlik ilkesine göre fotonun bir eksene göre dönme durumu belirlenirse diğer eksenlere göre dönme durumları belirsizdir. Somut gerçek bu eksene takılmış pankart gibidir.

Bir elektron çiftini bir noktadan birini sağa birini sola yöneltecek bir düzenek yapılır. Düzeneğin nasıl yapıldığının ve teknik ayrıntının gereği yoktur, ancak bu konuda uzman olanlar için çok kolaydır. Birbirlerine zıt yönde ilerleyen elektronların herhangi bir andaki konumları çıktıkları noktadan eşit uzaklıktadır. Her iki tarafa da üzerlerine düşen elektronların hangi eksen etrafında dönme hareketi yaptığını ölçen aletler, yani detektörler yerleştirilir. Deneysel fizikçiler için bu tür detektör yapmak gerçekten çok kolaydır. Her iki taraftaki detektörler belli bir eksen etrafında dönme yapan elektronları saptayacak şekilde ayarlanır. Böylece birbirine zıt yönlerde ilerleyen elektronların dönme durumları arasında bir bağıntının olup olmadığını tespit edecek bir deney tasarlanmış olur. Her iki detektörde elektronların dönme eksenlerini ve sağdan sola mı yoksa soldan sağa mı döndüğünü tespit edecek duruma getirilir. Örneğin, detektörler yatay eksen doğrultusundaki dönmeleri saptayacak şekilde ayarlansın, soldaki detektör yatay eksen etrafında soldan sağa dönen bir elektronu görüyorsa sağdaki detektörde yatay eksen etrafında soldan sağa dönen elektronu görür. Sağdaki detektör, yatay ile 45 derece yapan doğrultuda elektronun sağdan sola veya soldan sağa döndüğünü görüyorsa sağdaki detektörde aynı doğrultuda aynı dönmeyi görür. Detektörlerin biri Ankara'da bir Jüpiter'de olsa sonuç değişmez. Kuantum teoride de aynı sonuçları verir. Sağdaki detektör ne ölçerse soldaki de aynısını ölçer. Elektronların kaynağı aynıdır, fotonlarda olduğu gibi.

Acaba elektronlar birbirlerinden uzaklaşırlarken ölçü yapıldığında aynı sonucu verelim diye bir anlaşmamı yapmıştır? Bunun anlamı birbirinden çok uzakta bulunan sistemler arasında bir bağımlılık olduğudur. Kuantum fiziğinin bu özelliği kuantum bağlaşıklık bölümünde incelenecektir.

Bu deney kuantum fiziğinin yerel bir teori olmadığını deneysel olarak kanıtlamıştır.

Şimdi yerel olmayan teorinin ne anlama geldiğini tartışacağız. Bu paragrafı okuduktan sonra, kuantum fiziğinin sizi gerçek ile tanıştıracak bir kuram olduğunu kesin olarak anlayacaksınız. Şartım aklınızı vererek okumanızdır. Kuantum fiziğinin dayandığı kavramsal alt yapıyı anlayabilmek, sadece bir fizikçi veya bir mühendis için değil kendini bilgi çağının bireyi olarak tanımlamak isteyen herkes için bir ayrıcalıktır. Entelektüel yaşantının zenginliğidir. Şarap markalarını veya ünlü restoranlarda yediği yemeğin ayrıntılarını anlatmak, bilgilerini senteze kavuşturamamış entel görünmek isteyen amatörlükten başka bir şey değildir. Size, kuantum fiziğinin Hilbert uzaylarında şekillenen matematiğini değil, insanlığın düşünce düzeyine yaptığı katkıları anlatmaya gayret ediyorum.

Genel olarak çeşitli konularda kurgulanan teoriler yapı olarak birbirlerinden farklıdırlar. Bazıları sadece genel bir alt yapı verirken diğerleri ince ayrıntılara kadar inerler. Sosyolojik modeller; cinsiyet, sınıf, kültür, alt kültür, komşuluk, hemşerilik kimlikleri altında toplumların davranış normlarını incelerler. Psikoloji, bireyin diğer bireyler ve toplum ile olan ilişkilerini modeller. Biyoloji, canlıların çeşitliliğini, gelişimini, fizyolojik fonksiyonlarını, doğal ortamdaki yaşam biçimlerini, evrim teorisi gibi, modeller ile açıklamaya çalışır. Muhafazakâr görüş bu teoriyi çok kritik eleştirmelerine rağmen, canlıların bu modele uygun davranışlar sergilediği her geçen gün yeni bulgular ile kanıtlanmaktadır. Yukarıda kısaca özetlediğimiz bu süper aklın Darwin gibi düşünmediğini kimse iddia edemez. Darwin canlıların gelişim sürecinde doğanın mantığını açıklamaya çalışmıştır. Bu açıklamanın kutsal kitaplardaki açıklamalar ile çelişmesi gerçeği değiştirmez.

Her çağ kendi öykülerini, kendi mitolojisini, kendi gerçeğini kendisi yaratır. Sümerlilerin evreni, *Eski Ahit*'in evreni, Osiris'in evreni, Odexsus'un evreni, Aristo'nun evreni, Batlamyus'un evreni, İslamiyet'in evreni, Newton'un evreni, Einstein evreni ve nihayet ku-

antum evreni, bunların tümü birbirleri ile ilintili ve aynı zamanda içlerinde bir bütün olarak kendi hikâyelerini söyler. Newton ile başlayan gerçeğe akıl ile yaklaşma, olayları matematiksel kesinlikle belirleme bir başka deyişle determinizm ile sonuçlanmıştır. Herhangi bir hareketin başlangıç şartları bilindiğinde Newton mekaniği gelecekte neler olacağını kesin olarak verir. Newton kanunları ve klasik fizik bilimsel devrimin kâhinleridir. Kuantum fiziği bu bilimsel geleneği 1920-1930 arası yaptığı keşifler ile değiştirivermiştir.

Fizik evreni oluşturan maddeyi, maddenin oluşturduğu uzay-zamanı, bizleri olağanüstü görünümü ve karmaşıklığı ile hayran bırakan yıldızları, gezegenleri, güneşi, Ay'ı, galaksileri, kuasarları[13], bulutumsuları, meteorları, kara delikleri; maddenin bölünemeyen en küçük yapıtaşları atomları, molekülleri, atom çekirdeklerini, protonları, nötronları, elektronları ve bunları bir arada tutan kuvvetleri modeller ile kurgular. Kuramlar, yani teoriler bu modelleri matematiksel dil ile ifade ederler. Bilim kuramların gerçeği yansıtıp yansıtmadığını gözlem ve ölçümler ile kontrol eder. Bütün bu çabalara rağmen gerek doğal gerekse sosyal yaşamı eksiksiz verebilen modeller kurgulanamamıştır. İncelenecek konuların yapay olarak sınıflandırılması, yani bir bakıma yerel olması, mutlak gerçeğe yakın modellerin kurgulanmasına olanak vermez. İnsan aklının günümüze kadar elde ettiği tüm bilgiler, konuları ne kadar farklı olursa olsun, ilişkilendirildiklerinde gerçeğin modellenebilme olasılığı artar.

Kuantum fiziği yerel olmayan özelliği ile evreni oluşturan tüm bileşenler arasındaki etkileşmeleri göz önüne alarak gerçeği bir bütün olarak aydınlatır.

İtalik olarak yazılmış cümleyi birkaç kere okuyun ve üzerinde düşünün. Bir fizik kuramının yerel olması, gerçeğe tek göz ile bakmaya benzer. Büyüklerin dünyasını görür, küçüklerin dünyasını göremez. Gerçek öylesine karmaşık bir olgudur ki ona iki gözle bak-

[13] Kuasar (Akdelik): Evrenin en uzak köşelerinde akıl almaz bir enerjiyle parlayan gökadalara verilen ad.

mak yetmez, gözlerini dört açmak gerekir. Şimdiye kadar insan kafasına yerleşmiş ve doğruluğuna kesin gözü ile bakılan modellerin eleştirilmediği dünyada yaşamıyoruz. Doğru bilinen her şeyi sorgulama, gelişmenin motorudur. Soru sormak yalnız bilim insanlarının tekelinde de değildir; düşünen her birey soru sormakta ve yanıt aramakta özgürdür. Dini, siyasi, sosyal, ekonomik ve her konuda tüm normlar geniş toplum kitleleri tarafından sorgulanabilmektedir. Bu günlerde toplum bazı ayrıcalıklı sınıflara zenginlik getiren kapitalizmi sorgulamaktadır. Bilim, aklın muhafazakârlığını, değerlerin değişmezliğini değil, dinamizmini içeren bir yaşam tarzıdır. Kiliseler camiler, sinagoglar, milliyetçiliği, ırkçılığı veya devrimciliği benimsemiş siyasi eğilimler; aynı dünya görüşü etrafında toplanmış gruplar, tarikatlar çağdaş birey kimliğini kazanmışların düşünme soru sorma ve yanıt aramalarının önüne geçemeyecektir. Küreselleşmenin tüm uluslararası ekonomik ve politik baskılarına rağmen dünya her geçen gün daha da şeffaflaşmaktadır. Özgün düşünceler, ilk bakışta ne kadar saçma görünseler bile, değerini her geçen gün artıracaktır. Kuantum fiziğine hangi gözlükler ile bakılması gerektiği şimdi daha açık seçik anlaşılacaktır.

Herhangi bir fiziksel büyüklüğün ölçümüne kuantum fiziğine aklı yatmayanlar klasik fizik mantığı ile bakarlar. Bir kuantum sistemini oluşturan herhangi bir fiziksel büyüklüğün ölçüm yapılmadan önce kesin bir değer taşımaması kesin büyüklüğün olası değerlerinden birinin ölçüm ile ortaya çıkması kolayca kabul edilecek bir mantık değildir. Bu mantıkla Schrödinger kedisine bakarsanız hayvanın canlı mı yoksa cansız mı olduğunun belirlenememesi gibi saçma bir sonuca ulaşırsınız. Aynı saçma sonuçlar ölçüm sürecinde de ortaya çıkar. Zavallı masum kediciğin aynı anda hem canlı hem de cansız olması düşünülemez. Kuantum fiziğine karşı çıkanlar, olaya klasik fizik gözlükleriyle baktıklarından, böyle bir sonucun sağduyuyla çeliştiğini ileri sürerler. Ancak olay sağduyu kavramı ile analiz edilecek kadar basit değildir. Evinizin penceresinden baktığınızda ha-

reket eden bir aracı görebilirsiniz, ancak atomik yörüngede hareket eden bir elektronun konumunu veya hızını, çıplak göz değil hangi cihazı kullanırsanız kullanınız göremezsiniz. İşin püf noktası buradadır. Kuantum fiziğini eleştirirken klasik fizik gözlüklerini çıkartmanız gerekir. Orası başka bir düşünce boyutunun enerjisini taşır.

Klasik fizik ölçüm sürecine makro boyutlarda geçerli olan mantıkla baktığından yanlış yorumlar yapar. Heisenberg belirsizlik ilkesi, olaya klasik fizik mantığı ile yaklaşmanın doğru olmadığını söyler. Atomik boyutlarda olaylar klasik fizikten farklı düzlemlerde gerçeğin resmini çekerler. Klasik deney mantığı ile kuantum deney mantığının karşılaştırılması paradoksu çözer. Newton mekaniğinde bir gezegenin konumu ve hızı ölçü aletlerinden kaynaklanan belli bir hata sınırı içinde ölçüldüğünde, gezegenin sonraki konumları ve hızı hareket denklemlerinden hesaplanır. Güneş ne zaman tutulacak, ay ne zaman hilal şeklinde görünecek bilinir. Bu mantık kuantum fiziğinde geçerli değildir.

Neden işler kuantum fiziğinde böylesine karmaşık görünür?

Kuantum mekaniğinde deney ve deneyden elde edilecek bilgiler, klasik mekanikteki gibi kesin değildir. Örneğin kabarcık odasında bir elektronun hareketinin gözlendiği durumu düşünelim. Kabarcık odası fotoğraf filmine benzer. Şimdilerde artık fotoğraf filmlerin yerini dijital düzenekler almıştır. Kabarcık odasını bilmenizi beklemiyorum. Ancak çok basit bir alettir. Görmeniz gerekmez. Tarif edilince gözünüzde kolayca canlandırabilirsiniz. Nasıl jet uçakları havada arkalarında iz bırakarak hareket ediyorlarsa elektronlarda kabarcık odası içinde hareket ederken arkalarında iz bırakırlar. Kabarcık odaları elektron yörüngelerini saptamak için tasarlanmış bir deney aygıtıdır. Kabarcık odasında elektronun başlangıç hızı ve konumu saptanmaz.

Başlangıç anı bilgilerini içeren olasılık fonksiyonu, Schrödinger denkleminin çözümü olarak elde edilir. O anda olasılık fonksiyonu gerçeğin bilgisini içeren matematiksel bir ifadedir. Gerçek ölçümlerden elde edilen başlangıç anı bilgileridir. Elimizde böyle bir bilgi yoktur. Belirsizlik ilkesine göre böyle bir bilgiye sahip olmamız da mümkün değildir. Zorluk elektronda değil, bizim elektron hakkındaki bilgilerimizin eksikliğindedir.

Olasılık fonksiyonu bu eksik bilgiler üzerine kurgulanır. Newton fiziğinin verdiği gibi bir yörünge denklemi vermez.

Göz önüne alınan atomik boyutlardaki fiziksel sistemin her an hangi durumlarda olduğunu, kuantum fiziğinin ancak belli olasılık ile vermesinin nedeni budur. Sürecin belli bir anında olasılık fonksiyonu bilinirse, Schrödinger denklemi olasılık fonksiyonunun zaman içindeki değişimini verir. Olasılık fonksiyonu yani Schrödinger Denklemi'nin çözümü elektron hareketinin belirleyicisi değil sadece elektron hareketi hakkında bilgi veren bir ajandır. Newton mekaniğinde hareket hâlindeki parçacığın konum koordinatlarının zaman içindeki değişimini veren yörünge bilgisi gibidir.

Hareketin gözlenmesi veya herhangi bir anda fiziksel durumun örneğin konum veya hızın saptanması uzay ve zaman içinde gerçekleştirilen bir olaydır. Deney veya gözlem tasarlandığında işin içine kaçınılmaz olarak ölçü aletleri girer.

Olasılık fonksiyonu, ölçü aleti ile olan etkileşmenin bilgilerini de içerir, dolayısıyla ölçüm evrenin geri kalan kısmından soyutlanmaz. Bunun anlamı kuantum kuramının klasik fizik gibi yerel bir teori olmadığıdır.

Tam bu noktada ortaya yeni bir problem çıkar. Ölçü aletleri klasik fizik kanunlarına göre tasarlanmış ve yapılmışlardır. Ölçüm atomik boyutlarda klasik fiziğin aksine belirsizlikler içerir. Bu mikroskobik olayı makroskopik kanunlar ile incelemek demektir. Büyük olan ile küçük olanın uyduğu doğa kanunları farklıdır. Olasılık fonksiyonu, klasik mekanikte olduğu gibi sadece sistemin belli bir

an içinde bulunduğu fiziksel durumu değil, gözlenebilecek tüm fiziksel durumların bilgisini taşır. Bu bilgi objektif olup gözlemciden bağımsızdır. Olabilecekleri, eğilimleri bildirir.

Sisteme ait bir büyüklüğün, örneğin açısal momentumun ölçüm sürecinde sistem kendiliğinden, olasılık fonksiyonunun içerdiği açısal momentum değerlerinden birini seçer. Sonuçta fiziksel büyüklüğün mümkün değerlerinden biri ölçülmüş olur. Ölçme işlemi sisteme ait bilgileri ve bu bilgileri temsil eden matematiksel formu değiştirmiştir. Bu duruma; *Kuantum Sıçrama (Quantum Leap)* denir. Kuantum sıçramanın ne olduğunu daha önce, ölçüm bağlamında açıklamıştık, burada ise verilen açıklamaları yorumlayacağız. Kuantum sıçrama kuantum fiziğinin en yoğun eleştiriye maruz kalan özelliğidir. Sisteme ait olası tüm bilgiler aniden ölçülen değere sıçradığı için buna kuantum sıçrama denir. Muhtemelen *sıçrama* sözcüğü veya İngilizcesi *leap* olayı yansıtan bir söyleme sahip gözükmeyebilir. Bu dilin yetersizliğinden ileri gelir. Diğer bir ifadeyle kuantum sıçrama, ölçüm sürecinde sistemin olası tüm kuantum durumlarını sıfırlayarak ölçülen değeri tercih etmesidir. Bir büyüklüğün ölçümü, sistemin olası tüm değerlerden, gerçek olan değeri göstermesi olarak düşünülmelidir. Atomik boyutlarda ne olup bitiğinin peşine takılıp "Ne oldu?" diye bir soru sorulursa yanıtı *"Gözlem yapıldı,* sistemin *gerçek* değeri ölçüldü*"* olur.

Ölçü aleti ile sistem etkileştiğinde sistem mümkün olan kuantum durumlardan gerçek olanı seçer, yani *o duruma sıçrar.*

Olasılık fonksiyonunun içerdiği mümkün olan kuantum durumlardan birinin ölçüm sonucu olarak elde edilmesini Einstein, ünlü "Tanrı zar atmaz." cümlesi ile eleştirmiştir. Ölçüm yapıldıktan sonra olasılık fonksiyonu nasıl değerlendirilir. Ölçümden önce ölçülmesi mümkün değerlerin tümünü bilgi olarak içeren olasılık fonksiyonu veya dalga fonksiyonu, ölçümden sonra ölçülen değerin dışında kalan diğer mümkün olanların bilgisini artık taşıyamaz. Bu-

na olasılık fonksiyonunun çökmesi denir. Önceki bölümlerde değişik bağlamlarda olasılık fonksiyonunun çöküş hikâyesi anlatılmıştır.

Neden ölçüm yapıldığında, olasılık fonksiyonunun içerdiği fiziksel büyüklüklerden biri sonuç olarak çıkmakta fakat diğer olasılıklar veya diğerleri yok olmaktadır? Seçimi doğaüstü bir güç mü yapmaktadır. Yoksa bu mikroskobik boyutlarda yani atomik boyutlarda geçerli bir doğa kanunu mudur? Ölçü sürecinde ölçü aleti sistem ile etkileşim hâlindedir. Bu etkileşim sürecinde ne olup bittiğini fizik kanunları açıklamak durumundadır. Ölçü aleti sistemin değeri ölçülecek büyüklüğünü kopyalar. Kopyalama sürecinde yani diğer bir deyişle ölçüm sürecinde sistem ve ölçü aleti tek bir kuantum bütünlük içine girer ve sonuç verir. Ölçü aleti dalga fonksiyonunun içerdiği diğer olası durumları görmediği için onları ölçemez. Gördüğü büyüklüğü ölçer.

Bu yoruma açıklık getiren ünlü *Aspect Deneyi*'nde sola yönelmiş ışımayı oluşturan fotonun dönme durumu belli bir eksen etrafında ölçüldüğünde, yani detektör fotonun, örneğin saat ibreleri yönünde döndüğünü saptadığında, saat ibrelerine zıt yönde dönme olasılığı sıfırlanır. Bu olasılık yalnız ölçümün yapıldığı konumda değil tüm uzayda ölçümün yapıldığı aynı anda sıfırlanır, yani deneyde sağa yönelmiş fotonun olasılık fonksiyonunda saat ibrelerinin tersi yönde dönme olasılığı sıfırdır. Sağa ve sola yöneltilmiş fotonlar arasındaki uzaklık ne olursa olsun, sola yönelmiş fotonun dönme durumu ölçüldüğünde bu bilgi aynı anda tüm uzaya yayılır, ölçümün dışındaki olasılıklar sıfırlanır. Bu bilgi ışık hızından daha yüksek hızlarda tüm uzaya yayılır. Sonuç gerçekten inanılmaz, kabul edilemez bir olgu. İster inan ister inanma foton ve elektron bizim anlamakta güçlük çektiğimiz aklımızla alay edercesine garip özellikler göstermekte ve bize bir doğa bilmecesi sunmaktadır. Elektronun biri Ankara'da diğeri Satürn'de dahi olsa bilgi birinden diğerine anında iletilmektedir. Olasılık fonksiyonu ölçülenin dışında tüm uzayda çökmektedir. Ölçülenin dışında başka bir olasılığın söz konusu olmaması anlamına gelir.

Einstein böyle bir uzayın, yani ölçüm yapıldığında ölçüm dışında tüm olasılıkların çöktüğü bir uzayın sadece kafalarda olabileceğini gerçekte böyle bir uzayın mevcut olmadığını iddia etmiştir. Einstein'a göre olaylar yereldir. Ancak deney sonuçları olayların yerel olmadığını kanıtlamıştır. Olasılık fonksiyonunun çöktüğünü Satürn'deki deney bile, anında algılamaktadır. Parçacığa ait özellikler ölçümü beklemeden var olan özelliklerdir. Ölçüm parçacığa bir özellik kazandırmamaktadır.

Bir madeni paranın yazı mı yoksa tura mı geleceği veya rulette dönen topun 0-36 arasında bir sayıya düşeceğinin, kuantum mekaniğinin tanımladığı olasılıklar ile ilgisi yoktur. Para havada dönerken yazı veya tura gelme ihtimali, %50-%50'dir. Burada sonuçlar bellidir, para havada iken veya rulet topu daire çemberi üzerinde dönerken, hareketin geçmişinden tamamen bağımsız hareket eder. Paranın yazı mı yoksa tura mı geleceğini top hangi oyuğa düşeceğini bilmez. Schrödinger denkleminin tanımladığı olasılık, bundan çok farklı bir anlam taşır. Olasılık fonksiyonu bir dalga denklemidir. Elektronu sırtlayıp bilinen konuma taşıyan dalgadır. Nasıl girişim deneyinde dalgalar üst üste bindiğinde enerji maksimum zıt yönde konumlandıklarında minimum oluyorsa. Ölçüm sürecinde olasılık dalgasının kuvvetli girişim yapması sonucu alet bu girişimin sonucunu kopyalar ve bize ölçü olarak verir.

İşte gerçek böyle davranıyor.

Tanrı soluğunu burada daha kuvvetli hissettiriyor. Klasik fiziğin tanımladığı olasılık ile kuantum fiziğinin tanımladığı olasılık arasındaki temel fark, atomik boyutlarda parçacıkların hareketini yönlendiren dalgaların girişim yapmasıdır. Olasılık dalgasının girişimini düşünebilmek çok özgün bir yaklaşımdır. Makroskopik boyutlarda ise hareketin belirleyicisi parçacığın kendisidir, ona eşlik eden dalga değil.

Popüler olmak, ilgi çekmek isteyenlerin dediği gibi işin içinde doğaüstü bir güç filan yoktur. Bu tanrının nefesi değil sadece olasılık dalgalarının bir girişim olayıdır.

Bu durumda atomik boyutlarda evrenin gözlem yapandan bağımsız bir nesnel tanımı verilmiş olur. Klasik fizik evrene, kendisini işin içine sokmadan, bir tabloyu seyrediyormuş gibi bakar. İstanbul'un veya Ankara'nın var oluşu (onu görsek de görmesek de) işin içine kendimizi katmadan gerçektir. Burada kendimize bir atıf yoktur. Bu makroskopik evrende somut gerçeğe giden yolu gösterir. Dolayısıyla nesnellik klasik fiziğin gerçeklik ölçüsüdür. Bu tanım önceleri çeşitli bağlamlarda tekrarlanmıştır. Şimdi akla gelen soru acaba kuantum fiziği aynı nesnel kıstas ile mi gerçeği tanımlar? Bu soruya verilecek en basit yanıt, mümkün oldukça bu ölçüye uyarak gerçeği tanımlar. Daha derin anlamda kuantum mekaniği, objeyi yani incelenmekte olan olayı, evren ve obje olarak ikiye ayırır. Gözlemci evrenin içindedir ondan soyutlanmış bağımsız bir var oluş değildir. Olasılık dalgasının girişim yapması gözlemciyi, tabloya bakan olmaktan çıkarır, tablonun içine sokar. Klasik fizik tabloya bakanın gördüğünü gerçek olarak tanımlayan bir disiplindir. Bu ayırım klasik fiziğin ayırımı ile kısmen örtüşür ve bilimsel yöntemin bir yansımasıdır.

Einstein kuantum fiziğini, bir nedenin birden fazla sonuç doğurduğu gerekçesiyle benimsememişti. Eğer doğa kanunları gelecek hakkında bir şeyler söyleyemiyorsa, "işin içine tanrı girer" polemiği ile itiraz ediyordu. Bu itiraz ile fizik ve felsefe düzlemine iz düşürülmüştür. Ancak John Stewart Bell'in 1970'li yıllarda yayınladığı makaleler, EPR düşünce deneyini test edilebilir ve somut, deneysel bir içeriğe kavuşturdu. Bell teoremi, fiziksel evrenin yerel (lokal) olmadığını kanıtlayan bir matematik yani takım eşitsizlikler ile ifade edilir. Yapılan deneyler teoremin doğruluğunu kanıtlamıştır. Dolayısıyla kuantum fiziğinin yerel olmayışı kuramın eksik olduğu anla-

mı taşımaz, gerçeğin davranışlarının yerel etkileşmelerle bulunamayacağı anlamına gelir. Kuantum fiziği, evrene bir bütün olarak bakar. Böylece günümüzde bu tartışmaların ateşi sönmüş gibi gözükmektedir. Bell teoremini, kuantum mekaniğinin klasik fizik açısından garip görünen diğer bir özelliği üzerine tasarlamıştır. Şimdi bu garip özellik incelenecektir.

6
Yerel Olmayan Kuantal İletişim, Kuantum Dolanık Sistemler (Quantum Entanglement)[14]

İki veya daha fazla bileşenin oluşturduğu kuantal sistemin bileşenleri arasındaki yerel olmayan ani iletişime *kuantal* dolanıklık denir.

Olay klasik fiziğin açıklayabileceği bir şey değildir. Entangle olan veya aralarında kuantal bağ bulunan iki parçacık birbirlerinden çok uzaklarda bulunsa da aralarında bir bilgi iletişimi söz konusudur. Telepatiye benzer gizemli bir olay söz konusudur. Doğanın inanılması güç bu özelliğini akıl, tanrının soluğunu hisseder gibi gerçekten duyabilmiştir.

Quantum entanglement, Türkçe kuantal bağ durumu veya kuantum dolanıklık, bağlaşık veya yerel olmayan bir iletişim kanalıdır. Geleceğin teknolojisi bu iletişim formatına bağlı olarak gelişecektir.

Kuantal bağ durumu veya kuantum dolanıklık, kuantum fiziğinin en anlaşılmaz en garip ve de en ilginç özelliğidir.

Dolanık bir kuantum sistemini açıklamak için önce sistemin kuantum durumunda bulunmasının ne anlam geldiğini anlamak gerekir. Bunu daha önce tartışmıştık. Kuantum fiziği doğanın yerel olmadığını olayların birbirleri ile ilintili olduğunu bilimsel olarak ka-

[14] *Kuantal Bağ Durumu (Quantum Entanglement)* kuantum dolanıklık olarak Türkçeleştirilmiştir. Dolanık sözcüğünün olayı tam olarak yansıtan bir anlam içermediğini sanıyorum; sözlüğe bakıp Türkçeleştirilmiş gibi geliyor bana. Esasında dolanık sözcüğü bir yerde akıl karışıklığını da çağrıştırır. Bu nedenle bu ilginç olayı ifade etmek için uygun bir sözcük olmadığını düşünüyorum.

nıtlamıştır. Kuantum dolanıklık doğanın bu özelliğinin bir sonucudur.

Öncelikle bir sistemin kuantum durumunun (Quantum State) ne demek olduğunu açıklayalım. Durum fonksiyonu veya olasılık fonksiyonu, atomik boyutlarda bir sistemin içinde bulunduğu fiziksel durumu tanımlayan matematiksel bir ifadedir. Bu ifade, daha önce birçok defa dile getirildi. Nasıl bir gazın hacmi, sıcaklığı ve basıncı o gaz kütlesinin fiziksel durumunu tanımlarsa, kuantum sayılarıyla da bir atomik sistemin içinde bulunduğu fiziksel durum tanımlanır. Örneğin Hidrojen atomunun temel enerji seviyesini, yani en düşük enerji seviyesini, n_0 ile gösterilen bir kuantum sayısı ifade eder. Atom bir üst enerji seviyesinde bulunuyorsa onu da n_1 sayısı ifade eder. Bir atomik sistemin içinde bulunduğu kuantum durum, sistemi karakterize eden bu ve benzeri sayılarla ifade edilir. Bunlar sistemin içinde bulunduğu enerji durumunu veya diğer benzer fiziksel büyüklükleri ifade eder. Kuantum sayıları ile ilgili olarak daha fazla bilgiye gerek yoktur. Hareket eden bir merminin namlu çıkış hızı ve atış açısı merminin hareketi için ne anlama geliyorsa n_0, n_1, n_2 gibi sayılarda benzer anlama gelir. Amacımız kuantum fiziğinin kavramsal içeriğini tartışmaktır, kuantum fiziği dersi vermek değil.

Özdeş temel parçacık çiftleri arasında, parçacıkların özelliklerine bağlı olarak bize garip gelen bir iletişim kanalı vardır. Birbirlerinden haberdardırlar. Bu çok önemli bir durumdur; yumurta ikizleri arasında anlatılan duygusal efsanelere benzer.

İki temel parçacık etkileşerek tek bir kuantum durumu oluştururlarsa, bu iki parçacık aralarında bir bağ oluşturur. Buna kuantal bağ veya kuantum dolanıklık denir.

Kuantal bağ, her iki parçacığın tek tek durumlarını belirleyen kuantum durumlarından bağımsız değildir. Örneğin iki elektron arasındaki etkileşme elektronları eksenleri etrafında zıt yönde dönme hareketi yapmaya zorlarsa, iki elektrondan oluşan sistem *singlet*

durumdadır denir. Burada sizlere yabancı olan singlet sözcüğünden sakın korkmayın, bu terminolojinin dayandığı fiziği bilmek zorunda değilsiniz. Anlamı gayet basittir. Elektronlardan biri saat ibreleri yönünde dönüyorsa diğeri de aynı yönde dönüyor demektir, yani tek bir dönme durumu var demektir. İki elektron arasındaki kuantal bağ, elektronlardan birini saat ibreleri diğerini tersi yönde döndüren etkileşme oluşturur. Atom çekirdeğini oluşturan nötron ve protonları, birbirine nükleer kuvvetler bağlar, bu kuvvet olmadan bağın oluşması olanaklı değildir. Görüldüğü gibi mikroskobik boyutlarda sistemi oluşturan parçacıklar arasında bir bağ oluşması için mutlaka bir etkileşme yani bir kuvvet alanı söz konusudur. Şimdi kuantal bağ oluşum mekanizmasını aktaracağız. Bu olağanüstü garip olayın nasıl meydana geldiğine açıklama getireceğiz. Dikkatle okuyun. Yirmi birinci yüzyıl iletişimi belki de bu garip olay üzerine kurgulanacaktır. Ben göremem ama sizler görebilirsiniz.

Önceki bölümlerde sıkça söz ettiğimiz gibi ışık, foton dediğimiz ışıma enerjisi parçacıklarından oluşur. Bir ışık demeti akan bir foton nehri gibidir. Görünür ışık veya tüm elektromanyetik dalgalar elektrik ve manyetik alan şiddetinin dalga hareketi yaparak ilerlemesidir. Işığı meydana getiren elektrik alan şiddetinin titreşim doğrultusu o ışığın titreşim doğrultusunu belirler. Herhangi bir ışıma yatay veya düşey eksen ile belli bir açı yapan her doğrultuda titreşebilir. Bu kısa bilgilerden sonra kuantum bağlaşık bir foton çiftinin nasıl oluşturulduğuna kısaca değineceğiz.

Bir lazer demeti, bilinen bir kristal üzerine düşürüldüğünde tek bir foton yansıyarak bir foton çiftine ayrılır. Bu basit yansımayı siz bile yapabilirsiniz. Yansıyan foton çiftinin titreşim doğrultuları arasında 90^0 derecelik bir açı meydana gelir. Fotonlardan biri yatay eksen doğrultusunda titreşiyorsa diğeri düşey eksen doğrultusunda titreşir. Fotonun yansımadan önceki açısal momentumu yansımadan sonraki açısal momentumuna eşittir. Dönme açısal momentum ile

ölçülür. Açısal momentum enerji gibi korunan bir büyüklüktür. Bir lazer demetinin kristal üzerinden yansıtmak gibi basit bir laboratuvar deneyi ile birbirlerine kuantal bağlı foton çifti elde edilir. Kristalden yansıtılan fotonun titreşim doğrultusunu ölçmek bu foton ile kuantal dolanık durumunda bulunan diğer fotonun titreşim doğrultusunu ölçmek anlamına gelir. EPR mantığı bu olgu üzerine inşa edilmiştir. Fotonlar için geçerli olan maddesel parçacık elektronlar için de geçerlidir, yani elektronlar arasında da kuantal bağlaşık durumlar elde edilir.

Birbirlerinden ayrı uzay konumlarda bulunmalarına rağmen tek bir parçacıkmış gibi davranırlar.

Foton ve elektron gibi mikroskobik parçacıkların veya taneciklerin kuantal dolanık olmaları, taneciklerin uzay ve zamanda aynı noktada bulunmaları olarak açıklanır. Kuantal bağın oluşması için zaman bir ana, uzay ise bir noktaya sıkışır. Bu cümleler size garip gelebilir. Zaman ardı ardına gelen anların bütünüdür. An ölçülebilecek en küçük zaman aralığıdır. Uzayın algılanması için mutlaka madde ve enerji içermesi gerekir. İçinde hiçbir nesnenin ve enerjinin bulunmadığı bir uzay hiçliktir; tasavvuru mümkün değildir. Esasında göreli olmayan kuantum mekaniğinde zaman tektir. Kuantum bağlaşık olan her iki parçacık da aynı zamanı ölçer. Kuantal bağ durumunda bulunan bir foton veya elektron çifti arasında zaman ve konum üst üste çakışır. Parçacıklar arsında bir uzay-zaman tüneli oluşur. Bu tünel size çok garip gelen bir yapıya sahiptir, klasik fiziğin tanımladığı uzay koordinatları ve zaman ölçüsü ile anlaşılamaz. Klasik fizikte zaman geçmişten geleceğe doğru yek yönlü akar. Kuantal bağ durumu oluştuğunda zaman bükülür, geçmiş ile gelecek üst üste biner. Kuantal bağ durumunda bulunan bir foton veya bir elektron çifti arasındaki iletişim, çiftin zaman ve konum olarak çakışmış olmasının sonucudur. Çiftler bir paranın iki yüzü gibi, aralarında mesafeler olsa da tektirler.

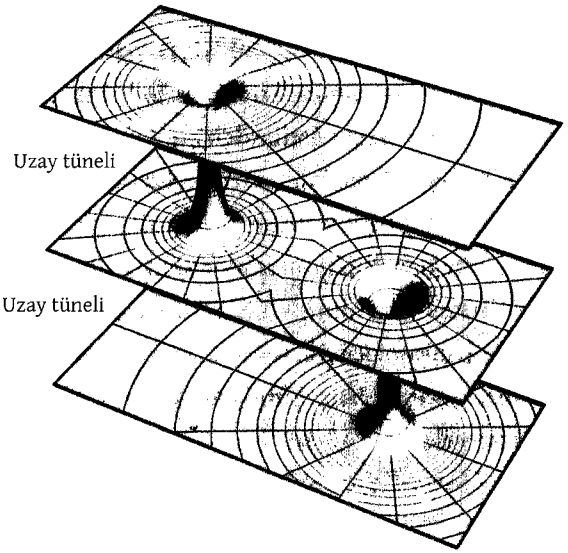
Uzay-zamanda böyle bir tünel, klasik fiziğin Öklidiyen koordinatlar (en, boy, yükseklik, birbirine dik üç eksenden meydana gelen koordinat sistemi, x, y, z gibi) ile belirlenen iki farklı uzay noktası arasında düşünülen tünelden farklıdır. Genel görelilik, uzayın geometrisini içinde bulunan madde ve enerjinin belirlediğini söyler. Bu kuramın gerçekliği çok sayıda deney ile doğrulandığına göre, söylediği doğrudur. Örneğin yerkürenin oluşturduğu ve bizim algıladığımız uzay birbirine dik üç eksen ile temsil edilir. İki nokta arasındaki uzaklık kesin olup bu iki noktayı birleştiren doğru parçasının uzunluğuna eşittir. Düzlem geometrinin temel aksiyomu yerkürenin oluşturduğu uzayın geometrisini ifade eder, yani bizlerin lise sınıflarında okuduğumuz geometridir. Üçgenlerin eşitliği Pisagor-Thales teoremleri, hep bu geometri içinde tanımlıdır. Bükülmüş bir uzayda, biri Ankara'da diğeri Andromeda galaksisi arasındaki iki nokta arasındaki uzaklık sıfırdır ve zaman aynıdır. Bu nedenle iletişim ani olarak meydana gelir.

Güneş gibi enerjisi yoğun bir sistemin oluşturduğu uzay, yerkürenin oluşturduğu uzay gibi değildir. Burada uzay düzlem geometri ile değil eğri yüzeylerden oluşan bir geometri ile temsil edilir. Artık iki nokta arasındaki uzaklık iki nokta arasındaki doğru parçası değil, iki nokta arasındaki eğrinin uzunluğuna eşittir. Güneş kendi geometrisini kendisi oluşturmuştur. Yer küre üzerinde ışık doğru yol takip ederken güneşin kütle-çekim alanına giren ışık bükülür ve bükülen uzay üzerindeki eğri boyunca hareket eder. Bu 1919 yılında yapılan ünlü güneş tutulması gözlemi ile doğrulanmış ve Einstein'a şöhretin kapılarını açmıştır. Yerküre ışığı bükecek şiddette bir kütle-çekim alanı meydana getirmediğinden ışık yerküre üzerinde doğru yol boyunca hareket eder. Bunun sonucu olarak uzay birbirine dik üç eksenin oluşturduğu düzlem geometri ile temsil edilir. Burada amaç genel göreliliğin öyküsünü anlatmak değil, enerji yoğun oluşumların uzay geometrilerinin yerküre geometrisinden farklı ol-

duğunu anlatmaktır. Şimdi gelelim esas probleme yani kuantal bağ durumunda bulunan iki elektron arasında yerel olamayan iletişimin nasıl meydana geldiğine.

Uzayın şeklini belirleyen içerdiği enerjidir. Uzay-zaman tüneli anlatabilmek için kalınlığı 1 cm kenar uzunluğu 1 metre olana kare şeklinde bir plaka göz önüne alalım. Kare köşegenlerinin kesim noktasından yani karenin geometrik merkezinden tabakanın alt yüzündeki geometrik merkeze en kısa yolu tasarlayalım. Merkez noktadan karenin bir kenarına bir dikme çizilir sonra alt yüzeye yani 1 cm kalınlık geçilir ve oradan alt yüzeyin merkezine bir doğru çizilir. Bu yolun uzunluğu 50 cm+50 cm+1cm yani 101 cm. Diğer taraftan kare tabakanın üst yüzeyinden bir delik açarsanız iki nokta arasındaki uzaklık 1 cm olur. Bükülen uzay zaman üzerinde benzer şekilde açılan deliğe *kurt* veya *solucan* deliği denir. Eğer tabaka kalınlığını sıfıra yaklaştırırsanız, iki nokta arasında uzaklık sıfıra eşit olur. Genel göreliliğin tanımladığı uzay-zaman tüneli buna benzer. Bir elektron veya fotonun tabakanın üst karenin merkezinde diğerinin alt karenin merkezinde olduğunu düşünelim. Bizler çift arasındaki uzaklığı 101 cm sıfırdan farklı bir iletişim süresi olarak görürken, çift uzaklığı ve iletişim süresini sıfır olarak görür. Bunun anlamı bizim iki ayrı konumda bulunan çift olarak gördüğümüz resim, çift parçacık enerjisinin oluşturduğu süper-uzayda aralarında sıfır uzaklık ve süre bulunan tünel ile bağlı çift olarak görünür. Tünelin girişi ve çıkışı üst üste gelmiştir. Çift arasındaki kuantal bağ bu şekilde meydana gelir ve içinde bulundukları fiziksel durumları ani olarak aralarında paylaşırlar. Şekil 14'te bu durum bir çizimle canlandırılmıştır.

Kitabı aklını vererek okuyanlardan yükselecek itiraz seslerini duyar gibi oluyorum ve onlara hak veriyorum. Önceki bölümlerde de belirttiğim gibi kanıtlanmamış hiçbir öneriyi peşinen kabullenmeyin ve "nedir bu süper uzay?" sorusunu yöneltin. Şimdi bu soruya beraberce yanıt arayacağız. Önce size *uzay-zaman* kavramını genel gö-



Şekil 15: *Uzay kütle-çekim alanının şiddetli olması nedeni ile öylesine bükülmüştür ki Dünya ile Alpha Centauri galaksisi arasındaki uzaklık ışık yılı mertebesinde yani katrilyonlarca kilometre olmasına rağmen, kütle-çekim alanı Dünya ile çok uzaklardaki galaksi alanında bir uzay tüneli açar. Tünelin girişi ve çıkışı uzay ve zamanda aynı noktadadır. Kuantal bağlı yani kuantal dolanık sistemler arasında bilgi alış verişi bu nedenle ani olur.*

reliliğin karmaşık matematiğinden soyutlayarak açıklamam gerekir. Evrendeki tüm olaylar uzay koordinatları ve zamanla tanımlıdır. Akıl karıştıran bir fiziksel olayı açıklarken değil, evinizde vereceğiniz bir partiye davetiye yazarken bile uzay ve zaman koordinatlarını kullanırsınız. 14. Sokak No: 25, 29 Ocak tarihi ve 18.30 zamanı belirtir. Adres uzay koordinatlarını, partinin saat kaçta yapılacağı da zaman koordinatını belirtir. Burada hiç aklınıza gelmemiş bir durum söz konusudur. Adres ve zaman birbirinden bağımsızdır. Klasik fizik de zamanı sizin gibi düşünür. Onu uzaydan yani adresten bağımsız ele alır, onun için zaman mutlak bir büyüklüktür. Toplantı ise, uzay yani adres ve de zaman bilgisi ile meydana gelen bir olaydır; davetiye de verilen bilgi ile özel göreliliğin uzay-zaman birlikteliği ilke olarak aynıdır. *Yıldız Savaşları* adlı TV dizisinde uzay gemisinin kaptanı zamanı o an bulunduğu uzay noktasına göre belirler. Örneğin "XC59T galaksisine göre zaman" diye seyir defterine kayıt eder.

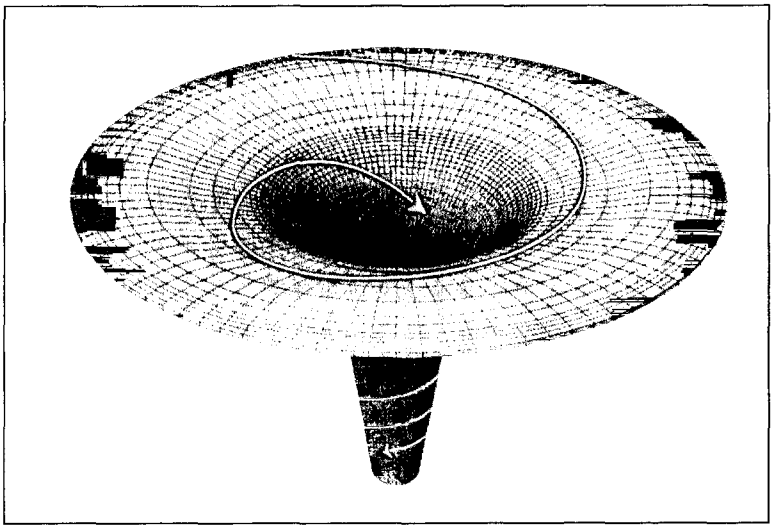
Zamanın mutlak olmadığı, onu ölçen gözlemcinin hızına bağlı olduğu deneyler ile kanıtlanmıştır. Çok yüksek hızlarda hareket eden bir nesnenin ölçtüğü zaman ile hareketsiz bir gözlemcinin ölçtüğü zaman aynı değildir. Özel görelik de zamanın deneylerde görüldüğü gibi mutlak olmadığını söyler. Genel görelilik ize uzayı, önceleri de sözünü ettiğimiz gibi, uzayın şeklini yani geometrisini içerdiği enerji miktarına bağlar. Enerji mutlak maddesel formda olmak zorunda değildir. Einstein ünlü $E=MC^2$ formülü madde ile enerjinin aynı bir fiziksel olduğunu söyler. Kuantal bağı anlamak için bu önbilgileri tekrar etmek yerinde olur. Şimdi merakları doruğa yükselten sorunun yanıtına gelelim.

Nasıl oluyor da İstanbul'daki elektron New York'taki elektronun hangi eksen etrafında ve hangi yönde döndüğünü anında bilebiliyor? İşin içine tanrıyı karıştırmadan bunun nasıl gerçekleştiğini anlayabilirsiniz.

Çok yüksek açısal hızlarda dönmekte olan içi boş bir silindir göz önüne alınız. Eğer dönme hareketinden kaynaklanan enerjisi yeteri kadar yüksek olursa, yani silindir geometri ekseni etrafında çok hızlı dönüyorsa, silindirin içinde, dışında algılanan uzaydan farklı bir uzay vardır. Sirklerde çok hızlı dönen silindirin duvarlarına insanlar yapışır. Böylesine hızlı dönmekte olan silindirin tepesinden, örneğin bir kum tanesini serbest düşmeye bırakın, tanecik dışarıda olduğu gibi düşey doğru boyunca yere değil, duvara doğru yönelen bir eğri boyunca hareket eder. Bunun anlamı silindirin içinde uzayın büküldüğüdür. İçi su dolu bir kovayı döndürdüğünüzde dönme hızı yeteri kadar yüksek ise, yatay bir düzlem olan su yüzeyi kenarlara doğru çekilerek kovanın ortasında bir çukur oluşturur, yani dönme enerjisi uzayı gererek şeklini değiştirir, yani büker. Artık su zerreleri bu eğik yüzey üzerinde hareket ederler. Nasıl manyetik alan kullanarak yerçekimi etkisiz hâle getirilip hava yastığı oluşturulup üzerinde vagonlara sürtünmesiz hareket ettiriyorsa, yani farklı bir uzay yaratıyorsa, dönmekte olan kova veya silindirlerde içerisinde bizim algıla-

dıklarımızdan farklı uzay yaratırlar. NMR Görüntüleme sistemi diye bir açıklama yapılabilir. Görüntüleme silindirinin içi dışarıdaki uzaydan fiziksel özellikleri itibariyle farklı bir uzaydır. Örneğin orada ne internet kullanabilirsiniz ne de TV izleyebilirsiniz. Enerji ve uzay geometrisi arasındaki bağıntılar kuantum bağ durumunu açıklayabilecek bir uzay yapısı oluşturur.

Kuantum bağ durumunu açıklayacak uzayın iki uzay-zaman noktası arasındaki uzay- zaman tüneli noktalar üst üste gelecek şekilde açılır. Kuantal dolanıklık böyle bir uzay-zamanın meydana gelmesi ile açıklanır. Ne elektronun kütlesi ne foton enerjisi uzay-zamanı bükerek iki ayrık noktayı üst üste getirecek enerji yoğunluğuna sahip değildir. Uzayın geometrisini enerji yoğunluğu belirler. Sadece elektronların kütle enerjisi göz önüne alınırsa, iki noktayı üst üste getiren bir uzay geometrisi elde edilemez.



Şekil 16: *Kütle-çekim alanı şiddeti uzayı büker. Işık böyle bir uzay bölgesinde doğru yol takip edemez. Şekilde gösterildiği gibi eğri boyunca hareket eder. Kuantal dolanıkta da aralarında çok uzak mesafeler oranında iletişim, kütle-çekim alanının açtığı kurt deliği veya tüneller ile sağlar. Tünelin girişi ve çıkışı aynı bir uzay-zaman noktasıdır.*

Şimdi bu mekanizmanın, yani uzay-zamanı bükerek iki ayrık noktayı üst üste getirecek enerji yoğunluğunu sistemin nasıl oluşturduğunu açıklayalım. Bir eksen etrafında dönme hareketi yapan elektronlar da içinde bulundukları uzayı bizim algıladığımız uzaydan farklı bir geometriye dönüştürür yani bükerler. Enerji elektronun dönme hareketinden kaynaklanır. İçi boş silindirlerin yüksek hız ile dönmelerinden kaynaklanan enerji uzayı nasıl bükerse, elektronların dönmesinden kaynaklanan enerji de uzayı büker. Sirklerde silindirin duvarlarında dönen akrobat motosikletçiler yer çekimine rağmen düşmezler. Bu motorun dönmesi ile ortaya çıkan enerjinin kütle-çekim kuvvetinden üstün olduğunu gösterir. Dönme hareketinin oluşturduğu yeni uzay-zamanda çift arasındaki uzaklık ve zaman farkı sıfıra düşer yani bir uzay-zaman tüneli açılır. Dönme hareketi yapan elektron çifti, sanki bir matkapla duvarı deler gibi, uzay-zamanı delerek elektron arasında bir süper tünel kazar. Uzayın sıfır uzunluktaki bir tünele dönüşmesi elektron çiftinin dönme hareketinden meydana gelen bizlerin dolaylı olarak varlığını algıladığı bir yapıdır. Bu nedenle aralarında ani bir iletişim meydana gelir. Tünelin çıkış ve giriş kapıları üst üste gelmiştir. Süper uzayda tek olan çifti bizler kendi uzay-zamanımızda farklı konumlarda bir çift gibi görürüz. Uzun bir süredir nedeni bilinmeyen kuantum bağ durumunun açıklaması yukarda verildiği gibidir. Şekil 15 ve 16'da böyle bir uzay zaman tünelinin oluşumu gösterilmiştir.

Kara delikler maddesel yoğunluğun oluşturduğu süper kütle-çekim alanının uzayı bükmesi ile ortaya çıkan kozmik yapılardır. Enerjinin çok küçük bir hacim içinde yoğunlaşması ile meydana gelirler. Işık dâhil tüm enerji formlarını içine çeker, bu nedenle kara delik adı verilmiştir. Uzayın bükülerek kara delik oluşması sadece kozmik boyutlarda görülen bir doğa olayı değildir. Parçacık hızlandırıcılarında da benzer bir durum ortaya çıkar. Kuantal dolanık iki parçacık arasındaki bilgi bu tünelden geçerek iletilir.

Fındık büyüklüğündeki bir taşı yukarı fırlatırsanız, bir miktar yükselir sonra geri döner. Aynı taşı sapan ile fırlatsanız biraz daha yükseğe çıkar, fakat yine geri döner. Kıtalar arası füzeler bile, belli bir yüksekliğe çıktıktan sonra geri dönerler. Geri dönüşün nedeni yerçekimdir. Gece karanlığında bir el fenerini yukarı doğru tutsanız ışık demeti yer çekimine hiç aldırmadan yükselir. Büyüklü küçüklü bütün taşları, devasa füzeleri, bombaları, dev uçakları, kendisine doğru çeken koskoca dünya, küçücük bir el fenerinden çıkan ışığa hâkim olamaz. Ancak dünyayı portakal büyüklüğünde bir hacim içine sıkıştırırsanız, kütle çekim alan şiddeti çok büyür; el fenerini filan dinlemez, yakınından geçen ışık demetlerini büker ve içine çeker. Artık dünya bir kara deliktir. Kara delikler, ışık da dâhil bütün enerji formlarını içine çeken ve karartan kozmik hortumculardır. Bir kara deliğin etki bölgesine girip çıkmak mümkün değildir.

CERN deneyinde ışık hızına yakın hızlarda hareket eden proton demetleri alın alına çarpıştıklarında, teknolojinin bu güne kadar üretebildiği en yüksek enerjiye ulaşmaktadırlar. Proton boyutu bir metrenin katrilyonda biri kadardır. 27 km uzunluğundaki dairesel yörüngede dolanmakta olan proton için teknoloji zamanı durdurmuştur. Çarpışama anında enerji metrenin100 trilyonda biri kadar küçük bir boyut içine sıkışacaktır. Kuantum dolanık parçacıklarda da benzer bir olgu söz konusudur. Elektronun dönme hareketinden kaynaklanan enerji, kara delik uzayına benzeyen eğri bir süper uzay yaratır. Bu uzayda dönme enerjisinin açtığı tünel ile elektron veya foton çifti arasında kuantal bağ oluşturur. Süper tünel yolu ile aralarında ani iletişim gerçekleşir.

Günlük yaşantımızda yaygın olarak kullandığımız aletlerin çok büyük bir kısmı kuantum mekaniğine dayandırılarak geliştirilmişlerdir. TV, haberleşme sistemleri, tüm dijital teknoloji ve diğer aklınıza gelecek birçok kolaylık. Kuantum fiziği Bell deneyi ile yerel olmadığının kanıtlanması yeni uygulama alanlarının yaratmıştır.

Elektron ve foton çiftleri arasında kuantal bağın oluşmasını sağlayan fiziğe dayandırılarak aklın alamayacağı hayallerin ötesinde uygulama olanakları vardır. Bundan sonraki kısımlarda bu gariplikler konu edilecektir.

Kuantum Teleportation

Kuantum fiziğinin teleport özelliği bilim-kurgu edebiyatına yeni bir renk yeni bir tat getirmiştir. Işınlama bir teleport olayıdır. Bilim-kurgu yazarları teleport olayını veya Türkçe ışınlanmayı, bir cismi onu oluşturan parçalarına ayırıp başka bir uzay noktasında yeniden bir araya getirme olarak ifade etmiştir. Bir cismi teleport edip başka bir uzay noktasına ortaya çıkartma işlemi ani olduğundan, yani bu süre kısa da olsa zaman geçmesine gerek duyulmadığından onlara çok ilginç gelmiştir. Doğal olarak bilim-kurgu yazarları, böylesine akıl almaz bir olayın nasıl gerçekleştiğine dair, ne TV dizilerinde ne filmlerde ne romanlarda ne öykülerde açıklama vermez, esasında böyle bir açıklamaya da gerek yoktur. Yazar için önemli olan doğa kanunlarına ve mantığa aykırı bir durumun olmamasıdır. Bu bölümde teknik ayrıntıya girmeden teleport yani ışınlanma olayı nasıl gerçekleştirilir anlatılacaktır. Önce bir giriş yapalım, cisim, atom ve moleküllerine ayrıldığında teleport ile aynı moleküller veya atomlar diğer uzay noktasına iletilmezler, sadece onlara ait kuantal bilgiler iletilir. Bilgi diğer uzay noktasına ulaştığında teleport makinesi aynı malzemeye gelen bilgileri yükleyerek uzaktakinin eşdeğer bir kopyasını üretir.

Kuantum teleportation bilim çevrelerinde bir kuantum sistemine ait bilgilerin, örneğin elektronun spin durumuna veya bir fotonun polarizasyon durumuna ait bilgilerin, fiziksel ortamda bilgi transferi yapılmaksızın bir noktadan diğer bir noktaya iletilmesi olarak tanımlanır. Kimi bilim insanlarının tahminlerine göre, bende onlara katılıyorum, geleceğin haberleşmesi, kuantum fiziğinin bu anlaşılmaz özelliğine dayandırılarak yapılacaktır.

Atom altı tanecikler arasında oluşan kuantal bağ veya dolanıklık olayına, klasik fizik bir açıklama getiremez. Aralarında süper tünel oluşan kuantum dolanık foton ve elektron çiftleri, sanki bir paranın iki yüzü imiş gibi davranırlar. Bizlerin algıladığı üç boyutlu uzayda birbirlerinden ne kadar uzaklaştırırsanız uzaklaştırınız, birinde meydana gelen değişikliği diğeri anında algılar. Bu çok garip bir iletişimdir. Değişiklik bilgisi ani olarak, yani ışıktan daha hızlı diğerine aktarılır. Bu özelliği ilk fark eden kuantum fiziğinin matematiksel temelini atan Schrödinger olmuştur. Birbirinden çok uzaklarda bulunan iki nesnenin birbirinden anında haberdar olması çok şaşırtıcı bir olaydır. Bu özellik, kuantum fiziğini tanrının soluğu olarak yorumlayanların çok ilgisini çekmiştir. Acaba bu bilgi alışverişi tanrı öyle istediği için mi meydana gelmektedir?

Kuantal dolanık durumunda bulunan iki parçacık arasındaki ani iletişiminin programlanmış olması mümkün müdür? Bu bilgi transferinin nasıl gerçekleştiği kuantum bağlaşık sistemler başlığı altında bundan önceki bölümde anlatılmıştır. Örneğin tek yumurta ikizlerinin doğdukları andan itibaren aralarında duygusal bir bağ olduğu söylenir. Birbirlerinden uzakta olsalar da aynı anda aynı olaylara sevindikleri veya aynı olaylara üzüldükleri iddia edilir. *Zenda Mahkûmları* adlı roman böyle tek yumurta ikizi kardeşlerin dramını konu almıştır. Kuantal bağ buna benzer bir şey olabilir mi? İşin içine doğaüstü bir güç girer mi? Çok ilginç bir tartışma konusu.

Toplumun bir kesimi bu cins akıl almaz olayları gerçekmiş gibi göstermeye bayılır; bir kısmı da inanır. Bilimde özellikle kuantum fiziğinde anlayış farklıdır. Elektrona ait bir özelliği, örneğin dönme durumunu göz önüne alalım. Dönme durumu elektronun hangi eksen etrafında saat ibreleri yönünde mi yoksa zıt yönde mi döndüğünün bilgisidir. Elektron programlanmış bir dönme durumuna yani spin kuantum sayılarına sahip olamaz. Burada kuantum sayıları dediğimiz dönme durumu bilgisini ifade eden sayılardır. Elekt-

ron çok sayıda eksen etrafında saat ibreleri veya tersi yönde dönebilir. Bu nedenle çok sayıda eksen etrafında dönme olasılığına sahiptir ve hepsi birbirinden farklıdır. Yani kesin sabit mutlak bir dönme durumu yoktur.

Kuantal dolanık durumunda olan bir çifti oluşturan fotonlardan birinin dönme durumu ölçülünce diğerinin dönme durumu saptanır. Ölçümden önceki olasılıklar ölçüm sürecinde somut gerçeğe dönüşür. Fotonlardan biri belli bir eksene göre saat ibreleri yönünde döndüğü ölçüldüğünde diğeri elektronun saat ibrelerinin tersi yönde döner. Bu deneysel olarak gözlenmiş bir durumdur. Bu olayın nasıl gerçekleştiğini bir önceki kısımda açıklamıştık.

Einstein kuantal bağ olayını nedensellik ilkesini ihlal ettiği için eleştirmiştir. "Neden sonuç ilkesine aykırı bir durum gerçeğin ifadesi olur mu?" sorusuna takılmıştır.

Esasında Einstein, kuantum fiziğini bütününü pek içine sindirememiştir. Nobel Ödülü aldığı fotoelektrik olayını tümüyle foton kavramına, yani kuantum kavramına, dayandırarak açıklamıştır. Fotonu ışıma taneciği yani bir enerji kuantası olarak düşünmüştür. Buna rağmen Einstein kuantum parçacıklarının ölçümden önce kesin fiziksel değerleri olamayacağı önerisini kabul edememiştir. Evrenin olasılıklar ile açıklanamayacağını iddia etmiştir ve iddiasını da sürdürmüştür. Bu nedenle "Tanrı zar atmaz." cümlesini Bohr'u çileden çıkarıncaya kadar tekrarlamıştır. Olasılıkların saklı veya gizli değişkenler olabileceğini sanmıştır. Bütün bu ateşli tartışmalar 1980'li yıllarda yapılan deneyler ile son bulmuştur. Doğanın mikroskobik boyutlarda kuantum fiziğini öngörülerine uyumlu davrandığı kanıtlanmıştır. Esasında kuantal bağ durumu nedenselliği dışlamaz. Kuantum parçacıklar klasik fizikte olduğu gibi kesin fiziksel durumlarda değil olası durumlarda bulunurlar. Neden olasılıklar, sonuç olasılıklardan biridir. Fizik yine fizik, bilimsel yöntem yine bilimsel yöntemdir; kuantum fizik her olayın bir nedene dayandığı nedensiz bir sonucun olamayacağını söyler.

Kuantal dolanık durumunun garip özellikleri üzerine kafa yoran kimi fantastik roman yazarları kuantum teleport, yani kuantum iletişim terimini bilim-kurgu edebiyatına kazandırmışlardır. Kuantum teleportation, kurgu yazarlarına göre önceleri belirttiğimiz gibi, bir nesneyi belli bir uzay-zaman konumundan başka bir uzay-zaman konumuna ani olarak aktarmak demektir. Esasında ışınlama olayı böyle değildir. Ünlü *Uzay Yolu* dizisinde *Atılgan* gemisinin kaptanı Kirk, görevlileri ışınlayarak evrende istediği noktaya göndermiştir. Filmlerde ve romanlarda böyle olmasının bir sakıncası yoktur.

Kuantum teleportation veya kuantum iletişim, nesneye ait taranarak elde edilen tüm bilgilerin diğer uzay-zaman konumuna iletilmesi ve bu bilgilerin bir aygıt tarafından tekrar nesneye dönüştürülmesi olarak anlaşılır. Bunu tekrarlamamın nedeni, yanlış anlamaları önlemektir. Nasıl içinde renkli resim, çizim ve metin bulunan bir belgeyi faks makinesi, fiber optik kablolar ile başka bir noktaya iletip, orada yazıcı bu bilgileri tekrar belge hâline getiriyorsa, kuantum iletişim mantığı da kabaca buna benzer. Hayret edeceksiniz, kuantum dolanık durumu ilkel anlamda veya ilke olarak gerçekten ışınlamaya izin verir. *Uzay Yolu* dizisini yaratan Gene Roddenberry kuantum fiziğinin ve genel rölativitenin farkındadır. Şimdi bunun nasıl olabileceği mümkün olduğunca basite indirgeyerek anlatılacaktır. Hemen "Evliyalar işte böyle uçuyor, aksakallı dede Çanakkale Savaşı'nda gökten süzülerek geldi." filan demeyin. Şimdilik uçan kaçan yok. Bilim sadece foton ve elektronları ve çok basit sistemleri ışınlamayı başardı. Aşağıda bu iletişimin dayandığı mantık kısaca anlatılacaktır.

Kuantum teleportation deneyi gerçekleştirmek için elimizde üç nesne bulunur. Bunlara A, B ve C ile temsil edelim. A teleport edilecek nesneyi B ve C kuantal bağ durumu ile birbirine bağlı parçacık çiftini göstersin. A ve B yakın temas hâlinde bulunurken C bunlardan uzakta bir uzay noktasında bulunsun. A ile B'nin birbirine

yakın olması A'nın tüm bilgilerini B'ye aktarma olanağı verir. Bunu belki anlamakta güçlük çekebilirsiniz, ancak bir benzetme ile ne demek istediğimi açıklayabilirim. Bilgi aktarma işlemi, resim, çizim ve metin içeren bir belgenin faks edilmesine benzer, faks önce belgeyi tarar yani belgedeki tüm bilgileri saptar. B taramadan sonra artık A'nın bilgilerine sahiptir. Bu bilgiler anında kuantal bağlı nesneye aktarılır. Bu durumda A'dan çok uzaklarda bulunan C, A'nın tüm bilgilerine sahip olur. Belgeyi tarayan faks bilgileri kendisinden uzakta bulunan alıcı makineye fiber kablo ile iletmesi gibidir. Dijital haberleşme ile örneğin bir e-mail ile ekranınıza yansıyan bir metnin veya resmin kopyalanması da böyledir. Alıcı makineye bağlı yazıcı aracılığıyla kendisine gelen belgenin aynısını basar. Böylece bir belge bir noktadan diğer bir noktaya aktarılmış olur. Faks sisteminin veya e-mail sisteminin yaptığı işlemi kuantal bağlı bir çift yapabilirse kuantum teleportation başarılmış olur. Şimdilik böylesine güçlü bir kuantal haberleşme sistemi kurulmuş değildir. Ancak nasıl fiber kablolar optik haberleşmeyi olanaklı kıldı ise kuantal bağlı çiftlerinde benzer bir haberleşme sistemi oluşturmasına, ilke olarak, bir engel yoktur. Sadece aşılması gereken teknolojik problemler vardır. Şimdi bu alanda atılmış ilk adımların öyküsü anlatılacaktır.

1993 yılında bir grup bilim insanı, bir nesnenin bileşenlerine ayrıştırılmak şartı ile teleport edilebileceğini gösterdi. Bunu takip eden yıllarda çok sayıda laboratuvar, foton tuzaklanmış iyonları teleport etmeyi denediler. Viyana Üniversitesinden Rupert Ursin ve grubu Avusturya'da Tuna Nehri üzerinden 600 metre uzaklıktaki bir noktaya foton teleport etmeyi başardı. Bir foton örneğin polarize olmuş bir lazer fotonu madde içinde ilerlerken çarptığı elektronlara enerjisini aktarır. Temel enerji seviyesinde bulunan elektron fotonun çarpması ile daha üst bir enerji seviyesine sıçrar. Bu üst enerji seviyesinden temel seviyeye düşerken yayımladığı fotonlar bazı özel kristaller üzerinden (Beta Borate) zıt yönlerde yansıtılarak aralarında kuantal bağ oluşmuş foton çiftleri elde edilir. Bu bağ haberleşmeyi sağlar. Her iki fotonun enerjisi başlangıç enerjisini eşit olarak paylaşırlar.

Foton kristalde yansıyıp bir foton çiftine ayrılırken fotonlar birbirine dik doğrultularında polarize olurlar. Birisi yatay doğrultusunda titreşirken diğeri düşey doğrultusunda titreşir. Zıt doğrultularda yansıyan lazer demeti polarize olur, yani sadece tek bir doğrultuda titreşir.

Bu konuda dikkate değer bir gelişmede 2006 yılında Danimarka Niels Bohr Enstitüsünde Eugene Polzik tarafından gerçekleştirilmiştir. Lazer demetine yükledikleri trilyonlarca sezyum atomuna ait bilgileri laboratuvar ortamında bir metre uzaklıktaki noktaya teleport edebilmişlerdir. Belli bir eksen ve bu eksenin yakın açı komşuluğunda yönelmiş diğer eksenlere göre dönme durumlarına sahip sezyum atomlarının oluşturduğu bulut üzerine yönlendirilen lazer, sezyum atomlarının spin durumları ile kuantal bağ oluşturur. Bunun anlamı yansıyan lazerin sezyum bulutuna ait tüm bilgileri taşıyor olmasıdır. Apple Şirketi buna benzer bir olaydan yararlanarak müzik nakli yapmayı başarmıştır (Cloud iletişimi). Olay sisteme ait bilgilerin başka bir uzay noktasına iletmektir ve laboratuvar ortamında başarılmıştır. Teleportation konusundaki araştırmalar her geçen gün yoğunlaşarak sürdürülmektedir. Önemli olan dolanık bağ oluşturan lazer demeti elde edebilmektir, bu başarılmıştır. Deneyi gerçekleştiren Dr. Eugene S. Polzik düğmeye her bastığımda kuantal bağ durumunda lazer demeti elde edebilmektedir. Bu teknolojik olarak önemli bir başarıdır.

Aynı tarihlerde IBM araştırmacılarından Charles Bennett, EPR deneyine benzer düzenekler ile nesnelerin benzerlerinin bir noktadan diğer bir noktaya anında iletilebileceğini deneysel olarak kanıtlamıştır. Burada teleport etmek parçacığa ait tüm bilgilerin istenilen noktaya aktarmak anlamına gelmektedir. 2003 yılında Cenova Üniversitesinde fotonlar 2 km kadar bir uzaklığa teleport edilmiştir. 2004'de ABD Standartlar Enstitüsünde bir foton değil bir atoma ait tüm bilgiler teleport edilmiştir. Bir berilyum atomunun özellikleri diğer bir berilyum atomuna aktarılmıştır. Kuantal bağlı çiftler arasında oluş-

turulacak haberleşme teknolojisinin getireceği yenilikler ve gelişmeler her türlü hayallerin üstündedir.

Özgün yani teleport edilecek nesne ile uzakta bir noktada elde edilecek kopyası arasında ne gibi fark vardır? Kuantum fiziğine göre onlar birbirinin tıpatıp aynısıdır. Neden aralarında bir fark yoktur? Şimdi bu sorunun yanıtını verilecektir. Evrendeki her elektron diğerinin aynısıdır. Kütleleri, elektrik yükleri manyetik veya elektrik alan ile etkileşmeleri aynıdır. Aralarındaki fark belli olasılıklar ile belli bir konumda bulunmaları kimi eksenlere göre dönme durumları veya farklı enerji seviyelerinde olmalarıdır. Daha kesin bir söylem ile anlattıklarımızı toparlarsak atom altı parçacıklar arasındaki fark, kuantum durumları arasındaki fark ile sınırlıdır. Aynı kuantum durumunda farklı uzay noktalarında bulunan iki elektron arasında hiçbir fark yoktur. Bir noktada bulunan elektronun kuantum durumunu uzakta bulunan bir elektrona taşıyabilirseniz birbirinin aynı iki elektrondan oluşan bir çift elde edersiniz. Kuantum teleportation, adeta bu işlemi yapanın kendisinin benzerini dölleme işlemedir.

Yakma ve uzağa teleport edilmiş elektronların aynı olmaları ortaya ciddi bir sorun çıkarır. Tek bir elektronu veya biraz daha tekniği geliştirerek bir atomu teleport etmenin mümkün olduğu görülmüştür. Teleportation yapmanın ilginç yanı "Acaba atom ve moleküllerden oluşan bir nesneyi, yani üç boyutlu bir cismi teleport etmek mümkün olacak mı?", sorusudur. Örneğin, "Bir otomobili teleport etme olanağı var mıdır?" Olay kuantum fiziği kurallarına göre yorumlanırsa, bunu yasaklayan bir doğa kanunu yoktur. Otomobile şeklini veren çelik gövde, rengini veren boya, koltuklar ve tüm aksam atom ve moleküllerden yapılmıştır. Japonya da üretilmiş bir Toyota ile oradan gemiler ile İstanbul'a getirilip galeride sergilenen Toyota aynıdır. Şayet bir gün otomobiller ve benzeri diğer cihazlar gemi ile değil kuantum teleport ile ihraç edilirse yine aralarında bir fark olmayacaktır. Önceleri belirtildiği gibi kuantum fiziğinin yaratacağı

yeniliklerin sınırına gerçekten hayaller ulaşamaz. Sanki Japonya'dan görünmez bir el uzanmış, İstanbul'daki çelik gövdeyi, camları, motoru, elektrik aksamı bir araya getirip otomobili üretiyor. Buna bu günün en ilerici en hayalci mantığı dahi inanamaz. Koskoca fabrikaların yerini, malzemelerin bulunduğu depolar alıvermiş. Yüz yıl önce televizyonun yapılabileceğini düşünmek insanlara ne kadar hayalci gelmiş ise, bu günde bize kuantum teleportation bize o kadar hayalci gelir.

Kuantum teleportation hayalleri bir otomobil ile sınırlı değildir. Örneğin bir çınar yaprağı düşününüz veya küçücük bir gül fidesi, onlarda karbon atomlarından, renk ve koku veren moleküllerden, çeşitli minerallerden ve sudan oluşmuştur. Otomobili prensip olarak teleport edebilen teknoloji canlıları da ilke olarak teleport edebilir. Acaba bir koyunu veya bir arıyı veya kediyi teleport etmek olanaklı mıdır sorusuna verilecek yanıt şartlar yerine getirilebilirse evet olacaktır. İşi tehlikeli alanlara çekelim acaba insanlar teleport edilebilir mi? Kaptan Kirk, *Atılgan* görevlilerini sıkça ışınlamıştır, yani teleport etmiştir. Şayet bu mümkün olursa bir insanın uzakta bir yerde kopyasını oluşturmak mümkün olabilir. İnsan bundan daha ilerisini hayal edebilir mi?

Kuantum bilgisayarlar, kuantum hesaplama

Yirminci yüzyılın en önemli keşiflerinden biri olan kuantum fiziği hayal dünyamıza her geçen gün bizi şaşırtan yeni ürünler, yeni kavramlar, yeni çeşniler katmaktadır; katmaya devam edecek gibi görünmektedir. Transistor keşfi ile başlayan elektroniğin minyatürizasyonuna ve bilgisayarların günlük yaşantımızda yarattığı değişimlere toplum ayak uyduramadan, ufukta aklın alamayacağı yeni teknolojiler şekillenmektedir. Bu değişim hızını, 10 yıl önceki mobil telefonların boyutları ve kabiliyetleri ile bugünkü telefonların boyut ve kabiliyetlerini karşılaştırarak değerlendirebilirsiniz. Televiz-

yon ekranlarında sergilenen ses ve görüntü kalitesi, internet iletişimindeki hız, bilgisayar bellek kapasitelerindeki artış, insanın kavrama sınırlarını zorlamaktadır. Bütün bu olasılıklar ve teknolojik gelişmeler sokaktaki insan için bir anlam ifade etmeyen kuantum fiziğinin sonuçlarıdır. Yirminci yüzyılın ikinci yarısında dünya ticaretinin %40'ını kuantum fiziğine dayandırılarak geliştirilen teknolojiler oluşturmuştur. Şu anda internet ortamında okuduğunuz gazete, bilgi bankaları, Iphone, Ipad, Kindle gibi ürünler, web sitelerine sizi ulaştıran teknoloji kuantum mühendisliğidir. Klasik mühendislik bile kuantum mühendisliğinin bir uygulamasına dönüşmüştür. Artık kimse bir binanın statik hesabını yapmıyor. Bir CD bunların hepsini hiç yanlış yapmadan başarabiliyor.

Kuantum bilgisayarlarını çok basit olarak anlayabilmek için önce işe klasik bilgisayarların dayandığı matematiği anlamak gerekir. Karmakarışık gibi görünen bilgisayarların nasıl basit bir aritmetik üzerine kurgulandığını anlatmaya çalışacağım, sadece bir miktar sabırlı olmanız gerekecek. Dört işlem, ister mühendis ister matematikçi ister doktor ister esnaf olsun her meslekten insanın temel matematik bilgisini oluşturur. Öğretmen tahtaya bir doğru çizer sıfırdan başlayarak eşit aralıklarla doğru üzerinde noktaları işaretler ve üzerlerine 0, 1, 2... 10, 11, 12... sayılarını yazar. Aklımıza gelebilecek her sayı sıfırdan sonsuza kadar, 0, 1... 9 rakamlarını kullanarak ifade edilir. Burada sayı ve rakam kavramları arasındaki farka dikkat etmeniz gerekir. Sayıların bu şekilde ifade edilmesine ondalık sistem denir. Her sayı on ve katları temel alınarak ifade edilir. İlk hesap makineleri, örneğin fasit makineler, daha da ilkeli abaküs, ondalık sistem göre tasarlanmışlardır. Bir sayıyı ifade etmek için kullanılan rakam sayısı artıkça hesap makinelerini tasarlama ve yapma zorlaşır.

Şimdi akla şöyle bir soru gelir aklınıza gelen tüm sayıları en az sayıda rakam kullanarak ifade etmek mümkün müdür? Evet mümkündür. Ondalık sistemde 0, 1... 9 kadar tam on tane rakam kulla-

nılır. Aklımız gelen tüm sayıları sadece 0 ve 1 rakamlarını kullanarak ifade edebiliriz. Şimdi içinizden buda nerden çıktı ondalık sistem ile her işimizi görüyorduk dersiniz. Bu bölümü okuyunca matematiğin ne kadar güçlü bir yol gösterici olduğuna bir kere daha şahit olacaksınız.

Sıfır ve bir rakamlarından oluşturulan sisteme ikili (binary) aritmetik denir. Tüm bilgisayar donanımlarının dayandığı mantık bu ikili aritmetiktir. Rakam sayısı azaldıkça hesap makinelerinin fiziksel donanımı basitleşir. Bilgi işlem sadece matematiksel bir kurgu değildir. Vereceğim örnekleri dikkatle okuyup anlamaya çalışırsanız, karmaşık sistemlerin nasıl basit makinelere dönüştüğünü görürsünüz. Önce ondalık sayıların ikili aritmetik sisteminde nasıl ifade edildiklerini örnekleyelim.

0= (00)	3= (011)	6= (0011)
1= (01)	4= (0001)	7= (1101)
2= (001)	5= (0101)	8= (00001)

Bu gösterimini anlamak ta çok basittir. Dikkat edin yeter. (00) ikilisi birler basamağını ondalık sayılarda 0'a, (01) ikilisi ise 1'e tekabül eder. Bundan sonra gelen sayı 2, ilk ikiliden sonra gelen basamakta (001) ile gösterilir. Üçlünün sonundaki 1 rakamı 2'yi gösterir. Nasıl ondalık sistemde 10 ve ondan sonra gelen 11 de ilk basamak 10'u ikinci basamak 1'i gösteriyorsa burada da ilk iki basamak birler hanesini gösterir. Bundan sonra gelen sayıları ikili sisteme göre yazmak artık kolaydır. Örneğin 3 (011) birler basamağında 1, ikiler basamağında bir tane 2 olduğunu gösterir, bu ikisinin toplamı ise 3 sayısını verir. Bundan sonra gelen sayı ise 4 (0001) ile ifade edilir anlamı birler ve ikiler basamağının boş sadece dörtler basamağının dolu olduğunu gösterir bu basamaktaki 1 rakamı ise ondalık dört sayısına tekabül eder. Son olarak 5 sayısının nasıl yazıldığını anlatalım (0101)

birler basamağında 1 ondalık sistemdeki 1 sayısını ve dörtler basamağındaki 1 rakamı ise 4 sayısına karşı gelir ikisinin toplamı ise 5'tir.

Şimdi içinizden kafamızı niye karıştırıyorsun ondalık sistem ile tüm sayıları ifade ederken bu ikili sistemde nereden çıktı buna neden gerek duyuldu diye itirazlar yükseliyordur. Burada önemli olan bu ikili sistem ile tüm sayıları ifade edildiği, bilginin depolandığı, iletişimin yapıldığı makineleri yapabilmektir. Ondalık sistem ile Facit makinelerden daha ileri gidilmemiştir. Elektrikli hesap makinelerinde de kolu sizin yerinize elektrik çevirmektedir, prensip olarak hiçbir fark yoktur. Şu anda bu makaleyi yazdığım bilgisayar donanımını ondalık sisteme göre üretmek olanaklı değildir. Şimdi ikili aritmetik sistemde bilgisayar donanımı nasıl tasarlanır görelim.

Bilgisayar üzerinde tartışırken önce bilginin ne olduğu üzerinde bir anlaşmaya varmamız gerekir. Şimdi alt alta bir şeyler yazıyorum:

Beşiktaş çarşı, şiddette karşı.
Lmhgrklancroiijee lobbkrö nsetsklemyub ydatuoar.

İlk satır bir anlam ifade ediyor; harf sayısı 26. İkinci satırın hiçbir anlamı yok; harf sayısı 43. Sanki ikinci satır birinciden daha çok bilgi içeriyor gibi gelir, çünkü harf sayısı daha çok. Fakat bilgi işlem sürecinde durum hiç de öyle değildir. Matematiksel olarak bilgi, belirsizliğin azaltılması olarak tanımlıdır. Örneğin, para havada dönerken, belirsizlik yani yazı veya tura gelmesi, para yere düşüp yazı veya tura gelince ortadan kalkar; bilgi elde edilmiş olur. Klasik bilgisayarlar bu mantık ile çalışır. Örneklediğimiz gibi iki olasılıktan kaynaklanan belirsizliğin kesin bilgiye dönüşmesi birbirim bilgi olarak tanımlanır. Birim bilgiye *Bit* denir. Bu çok ufak birbirim olduğundan teknolojide bunun sekiz katı *Bayt* bilgi birimi olarak kullanılır. Bin katı kilobayt *KB*, milyon katı megabayt *MB*, milyara katı gigabayt *GB*, trilyon katı terabayt *TB* ile gösterilir. Bugün klasik bilgisayarlar veya hard diskler terabayt mertebesindeki bilgiyi kolaca işleyebilirler.

Bilgisayarın karar vermesi, yani herhangi bir konuda evet/hayır, ve/veya demesi donanımda bir mantık devresine tekabül eder. Evet ya da hayır işlemcinin kendi başına verdiği bir karardır. Bilgisayar donanımında işlemciler elektrik akımını tek yönlü geçiren transistorlardan oluşur. Akım geçerse evet yani 1, geçmez ise hayır, yani 0 karşılık gelir. Bir BİT bilgi (00) veya (01) transistor çiftleri ile ifade edilir.

Transistordan akımın geçmesi veya bloke olması, yapay zekâya, yani işlemcide bir transistor devresine karşı gelir. Bilgisayar kimse karışmadan kendi kendine, evet/hayır ile ve/veya der. Bilgisayarların karar mekanizması yani yapay zekâsı işlemciler, evet/hayır ile ve/veya diyerek, tasarlanan algoritmaya göre bir işlemi tamamlarlar. Transistorlardan oluşan bu devrelere mantık devreleri denir. Eğer yan yana dizilmiş iki transistor akımı bloke ediyorsa, yani 00 ise bu bizim bildiğimiz 0 sayısına tekabül eder, biri bloke edip diğeri geçiriyorsa, yani 01 ise bu 1 sayısına tekabül eder. Bir bit değerinde bilgiyi işlemcide iki transistor kayıt eder. Transistor sayısı artıkça depo edilen ve işlenen bilgi sayısı artar. Mantık devreleri bilgisayarın beynini oluşturan nöron hücrelerine benzer.

Şimdi yukarıda verdiğim ondalık sayıların tümü belli sayıda transistor ile ifade edilir. Teknoloji öylesine gelişti ki bir kaç santimetre kare silikon yüzey üzerine bir milyar transistor yerleştirilmektedir. Facit hesap makinelerinde kol çevirerek yaptığınız işlemler, burada transistor devrelerinden akım geçmesi veya geçmemesi ile yapılır. Ondalık sistemine göre yapılan hesaplamaları ve klasik hesap makinelerindeki mekanik hareketi, bilgisayarlar işlemcisi ikili aritmetiğe ve elektrik devrelerine dönüştürür. Şu anda bu kitabı yazdığım bilgisayarda herhangi bir tuşa bastığımda ekrana o tuşa karşı gelen harfin yansıması da benzer bir yapay zekâ işlemidir. Bunların tümü işlemcideki transistor devreleri ile yapılır. Bilgisayara yüklü word programını çalıştırır ve metin yazılır.

Kuantum fizik kanunları, klasik fizik kanunlarından çok farklıdır. Bu farkı önceki bölümlerde ayrıntılı şekilde anlattık. Kuantum bilgisayarlarda transistor yerini iyona bırakmaktadır. Bunun anlamı bilgi ve işlevselliğin transistor yerine bir kuantum sistemine yüklenmesidir. Böyle bir teknolojiyi oluşturabilmek için önce iyonun, yani iyona bağlı elektronun, transistor gibi kararlı bir durumda işlemciye yerleştirilmesi ve belli bir konumda kararlılığını sürdürmesi gerekir. Optik kafes denilen yöntem ile iyona bağlı elektron hapsedilmiş, yani kontrol altına alınmıştır. Bundan böyle tüm bilgisayar işlevselliği hapsedilen iyon üzerinde tasarlanmaktadır. Bu kuantum bilgisayarların hayata geçirilmesi için gerçekten önemli bir adımdır. Şimdi kuantum bilgisayarların klasik bilgisayarlara göre ne gibi avantajlar sağlayacağını açıklayalım.

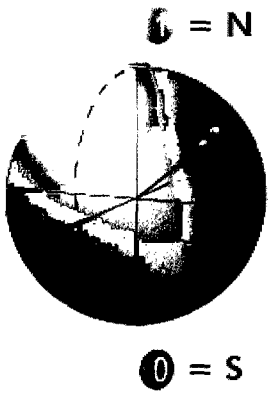
Kuantum fiziği, matematiksel olarak ifade edilebilen dalga olayı üzerine kurgulanmıştır. Örneğin nasıl bir telli sazda farklı ses veren iki vuruş üst üste binerek yeni bir ses meydana getiriyorsa, kafeslenmiş iyona bağlı elektrona eşlik eden dalga, kuantum fiziğine göre üst üste biner, yani süper-pozisyon yapar, yani kendine göre yeni bir ses meydana getirir. Kuantum bilgisayarlarının gücü kafeslenmiş elektronun süper-pozisyon durumunda bulunmasından kaynaklanır. Bu anlayışı derinleştirirsek, bir atomu tanımlayan dalganın süper-pozisyon yapması, yani yeni bir ses meydana getirmesi, atomun bu süper-pozisyonu oluşturan dalgaların her birinde aynı anda bulunması anlamına gelir. Bu açıkça bir iyonun aynı anda farklı durumlarda bulunma olasılığının sıfır olmadığını söyler. Olayı makroskopik uzayda düşünürsek, aynı bir atomun aynı anda hem İstanbul'da hem Ankara'da bulunması gibi bir şeydir, aklın alabileceği bir iddia değildir, ancak gerçektir. Kuantum fiziğini ilginç kılan, atomik boyutlarda doğanın sergilediği bu garip davranışları sistematize edebilmiş olmasıdır. Kuantum bilgisayarların gücü, fark-

lı vuruların oluşturduğu yeni sesi duyabilmesidir. Klasik bilgisayarlar bunu duyamazlar.

İyona bağlı elektron dönme durumu, yani elektron saat ibreleri veya tersi yönünde dönmesi ile tanımlıdır. Örneğin elektronun saat ibreleri yönünde dönmesini (1) ile zıt yönde dönmesini (0) ile gösterelim. Bu klasik bilgisayarlara benzer. Ancak doğa atomik boyutlarda klasik fiziğin tanımladığı özelliklerden farklı davranır. İyona bağlı elektronun sadece saat ibreleri veya tersi yönde dönüyor olamaz, ayrıca bu iki durumun üst üste binmesi (süper-pozisyonu) yani aynı anda her iki yönde dönmesi de olasılıklardandır. Doğanın bu özelliği kuantum bilgisayarlarını bir teknoloji harikası yapacaktır. Şimdi bu sesi bilgisayarın duyarak nasıl işlem yaptığı anlatılacaktır.

Şekil 17'de üst çizimde klasik bilgisayarlar işlemcilerinde kullanılan transistorların akımı geçirme ve geçirmeme durumları (1) ve (0) rakamları ile gösterilmiştir. Buna, yukarda tanımlandığı gibi, bilgi birimi yani **bit** denir.

Kuantum bilgisayarlarda bilgi veya işlem birimi klasik bilgisayarlardan farklıdır. İşlemcide transistor yerine atomik boyutlarda, yani kuantum fiziğinin geçerli olduğu boyutlarda, kafeslenmiş iyonlar donanım olarak kullanılır. Bu örnekte bir iyon, transistor yerine kullanılmıştır. İyona bağlı olan elektron, bir topaç gibi, saat ibreleri veya tersi yönde dönebilir. Şekil 17'de bu durum gösterilmiştir. Saat ibreleri yönünde döndüğünde, elektron yüklü olduğundan dönme hareketi iyona bir mıknatıs özelliği kazandırır. Bu durumda iyona bir çubuk mıknatısı gibi bakabiliriz. Şekilde N ve S kutupları gösterilmiştir. Klasik bilgisayarlara benzer şekilde bunlar (1) ve (0)



Şekil 17: *Burada sadece N,S veya 1,0 durumları yoktur. Küre üzerinde gösterilen nokta (1,0) durumlarının belli oranda üst üste binmesine karşı gelir.*

rakamları gibi görebiliriz. İyona bu şekilde bakarsak transistorlara dayanan tasarımlardan ileriye gidemeyiz. Ancak iyona bağlı elektron sadece saat ibreleri veya zıt yönde dönmekle kalmaz, aynı zamanda her iki durumun bir süper-pozisyonu olan durumda da dönme hareketi yapar. Süper-pozisyon durumunda bulunan elektron her iki yönde de dönüş yapıyor demektir, bu garip durumu daha önce belirtmiştik. Zamanın beli bir bölümünü saat ibreleri yönünde kalanını diğer yönde dönerek geçirir. Bu durumda elektrona giydirilecek bilgi birimi sayılar ile ifade edilir. Kafanızı karıştırmamak için bir miktar daha açıklamaya çalışayım. Transistorlarda olduğu gibi burada akım ya geçer ya geçmez gibi iki olasılık yoktur. Elektron farklı dönme kuantum durumlarına bilgi veya işlemci tekabül ettirilir. Bu bilgisayar teknolojisinde devrim yapacak bir fiziği ifade eder. Yirmi birinci yüzyıl bilgisayarları bu kabiliyet ile donatılmış olarak hayatımıza girecektir. Klasik bilgisayarlarda akım transistordan ya geçer veya geçmez, yani dijital bit (1) veya (0). Kuantum bilgisayarlarda ise üçüncü olasılık vardır. Bunlar 00, 01, 10, 11 olarak sıralanır ve aynı anda geçerlidirler. (00) kuantum durumunda iyonik elektron tüm zamanını örneğini sağdan sola dönerek, (01) durumunda zamanın tümünü soldan sağa dönerek geçirir, (10) durumunda zamanın yarısını soldan sağa diğer yarısını tersi yönde dönerek geçirir, (11) zamanını tümünü soldan sağa dönerek geçirir. (10), (11) durumları (00) ve (01) durumlarının üst üste binme yani süper pozisyon durumlarına tekabül eder. Görüldüğü gibi burada mantık devrelerinin kurgulanacağı seçenek sayısı artmıştır.

Nasıl klasik bilgisayarlarda transistor sayısı artıkça, işlemcinin kabiliyeti artıyorsa, kuantum bilgisayarlarda da kafeslenmiş iyon sayısı artıkça işlemcinin kabiliyeti artar. Aynı anda bir kuantum bilgisayar kafeslenmiş iyon sayısı ile orantılı olarak 2^N tane işlem yapabilir. Örneğin: iki iyon kafeslenmiş ise 4, üç iyon kafeslenmiş ise 8, beş iyon kafeslenmiş ise 32, on iyon kafeslenmiş ise 1.024, elli iyon

kafeslenmiş ise 1.125.899.906.842.624. Bu basit hesaptan anlaşılacağı gibi kuantum bilgisayarların kabiliyetlerine bir sınır çizmek çok güç olacaktır.

Kuantum bilgisayarlarının bilgi birimi ile klasik bilgisayarların bilgi birimi bit arasında benzerlikler vardır. Fakat birisi klasik fiziğe diğer kuantum fiziğine göre tanımlanmışlardır. Yukarıda belirtildiği gibi iyon dijital bit gibi (1) veya (0) durumunda bulunduğu gibi bunların süper-pozisyonunda da bulunabilir. Kuantum bilgisayarları farklı kılan bu özelliğidir. Buna göre kuantal bilgi birimi Qubit:

000, 001, 010, 011
100, 101, 110, 111

Görüldüğü gibi şu anda mikro işlemciyi tasarlayanın elinde 8 farklı durum vardır. Klasik bilgisayarlarda ise sadece iki olasılık vardır. Bu yeni bilgi birimine *Qubit* denir. Bunun anlamı kuantum fiziğinde bilgi birimin *Qubit* olduğudur. 000 durumu kafeslenmiş iyon süper-pozisyon durumunda sadece örneğin saat ibreleri yönünde, 001 ise elektron sadece saat ibrelerinin tersi yönünde dönüyor anlamındadır. Her durum belli olasılıklar içinde gerçekleşir. Bu farklı durumlar mantık devrelerinde kullanılmaya başlayınca bilgisayarların kabiliyetleri inanılmaz boyutlarda artar. Klasik bilgisayarlarda sadece evet (1) veya hayır (0) diyebilen transistor sistemleri kuantum bilgisayarlarda çok sayıda karar verme seçeneğine kavuşur bunun sonucu olarak yapay zekâ geliştirilmiş olur. Burada sadece teorik olarak kuantum bilgisayarların mikroişlemci tasarımında ne gibi olanaklar sunduğunu anlatmaya çalıştık. İyonların optik kafeslerde hapsedilmesi önemli bir teknik problemin çözülmüş olduğunu gösterir. Ancak kuantum fiziğinin veya daha doğrusu atomik boyutlarda doğanın sergilediği garip davranışların tümü aşıldığı anlamına gelmez. Burada amacımız bilgisayar dersi vermek değil, bilgisayarların dayandığı fizik ile bilgisayar mühendisliği arasındaki ilişkileri aktarmaktır.

Maddeyi oluşturan atomların aynı anda farklı noktalarda bulunabileceği ileri sürülse, iddia sahibinin aklından şüphe edilir. Bir atom aynı anda farklı iki uzay noktasında bulunabilir mi? Klasik fizik böyle bir durumu kesinlikle dışlar. Ancak kuantum fiziğine göre bir atomun aynı anda farklı iki uzay noktasında bulunma olasılığı sıfır değildir. Bu çok garip doğa olayının, klasik fizik mantığı ile anlaşılması mümkün değildir. Önceleri belirtildiği gibi, bir zamanların ünlü televizyon dizisi *Uzay Yolu*'nda ışınlama bu olasılığa dayandırılarak geliştirilen bir fantezidir

Kuantum fiziğinin sokaktaki insanın anlamakta güçlük çektiği diğer bir özelliği ise farklı noktalarda bulunan bir fotonun veya bir elektronun titreşim doğrultusunda bir dış etkenle meydana getirilen değişikliği, uzaktaki kuantal dolanık elektron veya fotonun anında algılamasıdır. Bu haberleşmenin nasıl gerçekleştiğini kuantum dolanık durumu tartışırken açıklamıştık. Kuantum bilgisayarların donanımı, bilginin depo edileceği veya işleneceği iyonlar arasında iletişim kuantum dolanık sistemler oluşturularak yapılır. Donanımı meydana getiren bileşenlerden birinde meydana gelen bir değişiklik ani olarak diğer bileşenler tarafından algılanır. Farklı konumlarda bulunan bir iyonda meydana gelen değişimi diğerleri ani olarak algılar. Bu bilgi birinden diğerlerine kuantal dolanık oldukları için iletilir. Günlük yaşantılarımızdan elde ettiğimiz deneyimlerimizden geliştirdiğimiz mantık ile böyle bir olayın gerçekleşeceğine inanmamız mümkün değildir. Önceki bölümlerde bu bilginin nasıl iletildiğini anlatmıştık, oraya dönüp bu garip olayı anlamak için bir kere daha okuyun. Ortada fizik kanunlarına ve gözlemlere aykırı bir durum yok.

Kuantum fiziği her geçen gün sosyal ve kültürel yaşamımıza yeni teknolojiler ve yeni ekonomik kavramlar yeni sosyal davranış normları yaratarak girmektedir. Bilim özellikle fizikteki gelişmelerin çok kısa süre içinde ekonomik değere dönüşmesi, yirmi birinci yüzyılın bilgi kaynaklı bir üretim ekonomisi çağı olacağını göstermektedir. Bilgisayar, Ipad yazılım gibi yüksek katma değer veren ürünlerin ya-

pılması lafla değil kuantum fiziğini teknolojiye uygulayabilecek kadar bilmek ve içselleştirmekle mümkün olur. Silikon vadisi ve benzerleri yüksek katma değerli ürünlerin tasarlandığı AR-GE merkezleridir. Üniversitelerinde fizik ve matematik bölümleri olmayan, kuantum fiziği dersi verilmeyen, kuantum fiziğini bilen insanların parmakla sayılacak kadar az olduğu Türkiye bu bilgi ve teknoloji yarışında çok gerilerde kalacaktır.

Kuantum bilgisayarları bu tasarılardan sadece bir tanesidir. Günümüzde kullanılmakta olan en hızlı ve belleği en geniş bilgisayarların 10 milyar yılda yapabileceği bir işlemi, kuantum bilgisayarları sadece 30 saniyede yapabilecek beceriye sahip olacaktır. Böylesine güçlü bilgisayar üretmek için kuantal dolanık iyonları optik kafes altına almak gerekliliğini yerine getirmeye benzer.

Kuantum fiziğinin yaşantımızda oluşturacağı en etkili uygulama hiç şüphesiz kuantum bilgisayarlar olacaktır. Bu alanda elde edilen önemli bilimsel ve teknolojik ilerlemelere rağmen süper bilgisayarların hayata geçirilmesi için yürünecek daha çok yol vardır. IBM, INTEL, HP, APPLE gibi dev şirketler araştırmalara büyük kaynaklar ayırmakta ve önümüzdeki on yıl içinde hedefe ulaşabileceklerini düşünmektedirler. IBM araştırma laboratuvarlarında kuantum fiziksel olaylara dayandırılarak molekül boyutunda malzemeyi kontrol altına alabilecek düzenekler geliştirilmiştir. Bu güç bir iştir ancak başarıldığında getirisinin büyük olacağı kesindir. Pentagon'a bağlı araştırma şirketleri bir kuantum bilgi işlemcisi projesi üzerinde çalışmaktadır. Umarım bizde de böyle birimler kurulur ve siyaset Gezi Parkı'nı veya Mısır'ı, Suriye'yi ikinci plana iter ve bilimin farkına varır.

NMR görüntüleme sistemlerinde kullanılan manyetik alan şiddeti yükseltilecek ve çok daha hassas görüntüler elde edilecektir. Elektrikli ev aletleri işlevlerini, ısınarak, yani enerji kaybı yapmadan yerine getirebilecek ve ciddi bir enerji tasarrufu sağlatacak süper iletken malzemeler üretmek için kuantum fiziğinin garipliklerinden

yararlanılacaktır. Süper-akışkanlık ise, sürtünmekte olan iki yüzey arasına yerleştirilen malzemenin sürtünmeyi sıfıra düşürmesi olayıdır. Motorlarda piston ve silindir arasına madeni yağlar yerine süper-akışkan malzeme konulduğunda motorun ömrü artacak enerji tüketimi büyük oranlarda düşecektir. Araştırma fazından uygulama fazına geçilen ve önümüzdeki on yıl içinde ticarileştirilmesi beklenen süper-iletkenlik ve süper-akışkanlığın yaşantımıza neler getireceği bir hayal değil sadece bir zaman meselesi hâline gelmiştir.

Bütün gayretlerin ortak amacı yukarıda belirttiğimiz gibi, maddeyi moleküler veya atomik boyutlarda kontrol altına alarak istenilen özellikler kazandırmaktır. Klasik bilgisayarlar bir yonga üzerinde milyarlarca transistoru kontrol altına alınarak üretilmiştir. Kuantum bilgisayarlar ise atomları kontrol altına alacak düzenekleri geliştirerek başarılmıştır ve yakında ticari hâle dönüşeceklerdir. Transistor yerine iyonlar ikame edildiğinde klasik bitlerin yerini qubitler alacaktır. Şimdi çok kısa olarak, bilgisayar donanımlarında iyonlar nasıl kontrol altına alınırın öyküsü anlatılacaktır.

1997 yılında lazer soğutma tekniği ile Nobel ödülü alan Prof. Dr. William D. Phillips ve arkadaşları, aynalar ve lazer demetleri kullanarak, basıncı boşluk seviyesine kadar düşürerek küçük cam odacıklarda kuantum etkilerinin gözleneceği büyüklükte (0,1mm) Bose-Einstein yoğunlaşmasını gerçekleştirdiler. Bu odacıklara kontrol altına alınan atom kümeleri yerleştirmeyi başardılar. Atomik küme mutlak sıfırdan bir Kelvin derecesinin kesirleri mertebesinde daha yüksek sıcaklıkta bulunduğunda kararlıdır. Ancak kontrollü bir şekilde ısıtıldığında atomik buharlaşma meydana gelmektedir; yani maddeyi atomik boyutlarda gözlemek bu yöntemle mümkün değildir. Küme hâlindeki yoğunlaşmış atomlar bu boyutlarda klasik fizik kanunlarına uymazlar. Heisenberg belirsizlik ilkesine göre bir atomun veya bir elektronun bulunduğu yer kesin olarak belirlenemez. 0,1mm boyundaki atomik küme içinde yer alan milyarlarca

atom bu ilkeye göre küme içinde her yerde bulunabilir. Bunun anlamı, hiçbir atomun küme içindeki yerinin sabit olmadığıdır. Klasik fizik kanunlarına göre gerçekleşmesi mümkün olmayan bu harika olayı 1924'te keşfedilen Bose-Einstein istatistiği denilen ve yine sadece kuantum fiziğine özgü bir yasa dikte eder. Maddenin bu fazı 1995'te William D. Phillips, Eric A. Cornell, Carl E. Wieman tarafından elde edilmiştir. Şu anda dünya üzerinde en az 50 grup, çeşitli yöntemler ve düzenekler deneyerek Bose-Einstein yoğunlaşması yapmaya çalışmaktadır. Özelliklerinin çok azı bilinen maddenin bu garip hâli araştırmacıların ilgi odağı olmuştur.

Yoğunlaşmış atomlar çok ince ayarlı lazer demetleri kullanılarak düzgün sıralar hâlinde dizilir. Gözlendiği gibi durgun suya atılan küçük bir taş parçası yüzey üzerinde dalgalar oluşturur. Şayet bir gölcüğün karşılıklı kıyılarında böyle dalgalar oluşturulursa dalgaların bir bölümü birbirlerine zıt yönde ilerleyerek gölcüğün ortalarına doğru üst üste binerek kararlı dalgalar meydana getirirler. Karalı dalgaların karın ve düğüm noktalarının yerleri değişmez. Bose-Einstein yoğunlaşma durumuna girmiş atomik küme üzerinde de saz telinde oluşturulan dalgalara benzer kararlı dalgalar oluşturmak mümkündür ve bu deneysel olarak başarılmıştır. Lazer demetleri de dalga hareketi yapar. Su dalgalarına benzer biçimde üst üste binen lazer dalgaları da konumları değişmeyen karın ve düğüm noktaları oluştururlar. Buna optik kafes denir. Yoğunlaşmış atomik küme üzerine gönderilen lazer demetlerinin oluşturduğu optik kafesin vadilerine atomlar yerleştirilir. Elde edilen bu durum bilgi teknolojilerine harika bir fırsat sunar. Böylece yoğunlaşan atomlar küme içerisinde belli noktalarda tutulur yani atomlar sıra hâlinde dizilirler. Klasik bilgisayarların çok sayıda transistor içeren yongaları optik kafes yerleştirilmiş iyonlara göre çocuk oyuncağı kalır.

Küme içerisinde optik kafesin bir dizi içerisine soktuğu atomları iki farklı enerji seviyesinde bulunacak şekilde düzenlenirler. Enerji

seviyeleri arasındaki farkın küçük olmasına özen gösterilir. Her bir atom ikili sisteminin 0 ve 1'ne tekabül eder. Bu durum ise bilgisayarların dayandığı donanımın algoritmasını yani bitleri oluşturur. Kullanmakta olduğumuz bilgisayar donanımında transistorların akımı tek yönlü geçirmesi ile tanımlanan bitlerden farklıdır. Transistorden akımın geçmesi 1'e geçmemesi ise 0'a tekabül eder. Transistorden akımın geçmesi veya geçmemesi kolayca tespit edilebilecek bir olaydır. İkili aritmetik ve transistorlar arasındaki ilişkiyi önceleri belli bir ayrıntı ile aktarmıştık. Burada tekrar edişimizin nedeni kuantum donanımı ile arasındaki farkı belirtmek içindir.

Yoğunlaşmış atomik küme içerisinde optik kafes vadilerine yerleştirilmiş atomların enerji seviyeleri transistorlardan akımın geçmesi ve ya geçmemesi gibi kesin değildir. Bir atom aynı anda 1 veya 0 sayılarına tekabül eden enerji seviyelerinden birinde bulunabilir. Tam bu noktada kuantum mekanik kanunları tasarlanan teknolojiye yön vermeye başlar. Aralarında direk bir bağ olmamasına rağmen qubitler birbirlerini sararlar. Dizi içerisinde bulunan bir atomun bulunduğu enerji seviyesi veya bu enerji seviyesinden diğerine atlaması diğer atomların enerji seviyelerine bağlıdır. Görüldüğü gibi dizideki atomlar arasında çok güçlü bir bilgi iletişimi söz konusudur. Kuantum bilgisayar donanımlarının teknolojik olarak tasarlanması bu iletişimin nasıl oluştuğunu anlamakla mümkün olacaktır. Bu iletişim anlaşılabilirse, yapılan ön hesaplamalara göre, kuantum bilgisayarlarının bellek kapasitesi ve hızı qubit sayılarına bağlı olarak logaritmik olarak artacaktır.

Bütün bu umut verici gelişmelere rağmen kuantum bilgisayarlarının üretilebilmesi için bilim ve teknoloji daha çok yol yürüyeceğe benzer. Henüz işin başında bulunulmaktadır. Ancak böyle olağanüstü bir teknolojinin kuantum mekaniği kanunlarına göre geliştirilebileceği fark edilmiştir. Atomik enerji seviyelerindeki değişimi yani bir qubit ait bilgiyi lazer demetleri kullanarak nasıl elde edileceği araştı-

rılmaktadır. Bu konu ile ilgilenen laboratuvarların ve araştırma merkezlerinin tümünde benzer yöntemler kullanarak qubitlerden bilginin nasıl elde edilebileceği anlaşılmaya çalışılmaktadır. *Umarım bizim anlı şanlı bilgisayar mühendisi yetiştiren üniversitelerimizde de bu araştırmalar yapılmaktadır veya işin farkındadırlar.*

Kuantum Kriptoloji

Kriptoloji, verici ve alıcı arasında gizlilik içeren bir mesajın iletimi sürecinde üçüncü şahısların sisteme girerek mesajı okumasını önlemek için alınan önlemlerin bütünü olarak tanımlanır. Karmaşık siyasi, ekonomik ve finans ilişkilerinin yaygın olduğu günümüz dünyasında, haberleşme güvenliği her geçen gün önemini artırmaktadır. Wikileaks olayı devletin en gizli haberleşmelerine dahi üçüncü şahısların girerek gizli bilgilere erişmesinin mümkün olduğunu göstermiştir. Bu gün yaygın olarak kullanılan kriptolojide haberin kodlanması ve kodun kırılması işlemlerini düzenleyen algoritmalar, bu konu ile ilgilenen şifre kırıcılar için sır değildir. Biraz zeki olanlar dahi karmaşık gibi görünen bilgi yığınında bir düzenin bulunduğunu fark edebilir. Üniversite giriş sınavlarında bunu yaşayarak öğrendik. Mesajların şifrelenme ve şifrelerin kırılma aşamalarındaki kullanılan anahtarlar, şifreyi tasarlayan tarafından kullanıcılara verilir. Şifreleme ve şifre kırmanın dayandığı algoritmalar, konunun uzmanlarınca bilinir. Önemli olan algoritmalara dayanarak oluşturulacak şifre çözücü anahtarı bulmaktır.

Kodlama ve kod kırıcı anahtarlar oluşturulduktan sonra gizli olması gereken mesajlar herkese açık haberleşme kanallarından iletilir. Böyle bir haberleşmenin çok sayıda kulak misafiri olur, eğer işin içine bir de para girerse misafir sayısı artar. Ne kadar güvenilir kamu haberleşme kanallarını kullanırsanız kullanın, meraklı kulakları devre dışı bırakamazsınız. İşin ilginç yanı özel haberleşmenize dışarıdan bir müdahale olduğunun da farkına varamazsınız. Meraklı kulakla-

rı ve gözleri şifreli haberleşmelerin dışında tutmak için 1970'li yıllarda kendisinden övgü ile söz edilen matematikçi Riffe, ABD elektrik ve elektronik mühendis odalarının çıkardığı ünlü IEEE dergisinde bir makale yayınladı ve işin rengi değişti ve hemen uygulamaya konuldu. Şifreli bir mesaj gönderen herkes aynı anahtarı kullanıyor, bunun anlamı kamu iletişim kanallarına gizli mesajınızı koyuyorsunuz. Mesajınızı ancak sizin alıcınız açabiliyor. Her alıcının kod kırma anahtarı farklı, mesajı göndermeden evvel kırma anahtarı üzerinde bir anlaşma sağlamanıza gerek kalmıyor. Ancak bütün bu çabalara rağmen mesajlar yine kırılıyor banka hesapları boşaltılıyor ünlü siteler çökertilebiliyor. Koskoca ABD Dış İşleri Bakanlığı bile bilgilerini gizleyemiyor.

İşte bu noktada kuantum kriptoloji devreye giriyor.

Anlaşılacağı gibi ne kadar özgün olursa olsun matematiksel yöntemlerle kodlanmış gizli haberleşeme sağlamak mümkün değildir. Yüzde yüz güvenlik sağlanamaz. Dijital teknolojinin kurtları, bir yolunu bulup gizli bilgilere ulaşırlar. Kuantum kriptolojide ise şifreli bilgi matematiksel değil fiziksel yöntemlerle iletilir. Heisenberg belirsizlik ilkesi ve foton sistemleri yüzde yüz güvenli bilgi transferini sağlar. Anahtara ait bilgiler ister özel ister kamu haberleşme kanalları ile iletilsin, iletişim foton polarizasyonu ile yapıldığından, yani kuantum fizik kanunlarının geçerli olduğu boyutlarda yapıldığından, dışarıdan bir müdahale anında fark edilir.

Sohbetim ve yazdıklarım ile umarım sizleri sıkmamışımdır, kitabın fizikle ilgili kısmını Stephen Hawking'in "Her şeyin teorisini (TOE - Theory of Everything) bilim bulabilecek mi?" sorusu ile sonlandırmak istiyorum. Kuantum fiziğinin ötesinde bir fizik var mı veya kuantum fiziğinin yansıttığı gerçeğin davranışlarını aşan sırrına eremediğimiz aşkın bir fizik, aşkın bir gerçek var mı sorusu bilim insanlarının filozofların ve ilahiyatçıların gündemdedir. Son bölümde bu konu tartışılacaktır, felsefeciler ve ilahiyatçıların dikkatine.

Kuantum fiziği, doğa gerçeğini yansıtan garip davranışları bizim anlayış sınırlarımız içine sokmuştur. Başarılarına rağmen kuantum fiziği her şeyi bilebilmemiz için yeterli bir yol haritası verebilmiş mi? Orası kesin değil. İnsanoğlu doğanın gariplikleri karşısında şaşırmamış, tanrının soluğunu duyabilmek için inanç doğmalarının çizdiği değil aklın çizdiği yolda yürümüştür. Kuantum dolanıklık, kuantum teleportation gibi insanın aklını başından alan gizemler bu yoldaki kilometre taşlarıdır. Aklın peşine takılanlar yeni kilometre taşlarına isimlerini yazdıracaklar, diğerleri ezberlediklerini tekrar edip duracaklar.

Dan Brown'ın, çok satan ünlü bilim kurgu romanı *Dijital Kale*'de, herkesi anahtarın yazıldığı yüzüğün peşine takar. *Dijital Kale* her türlü şifreyi kırabilen bir kuantum bilgisayardır. Stieg Larsson, ünlü *Ejderha Dövmeli Kız*, *Ateşle Oynayan Kız*, *Arı Kovanına Çomak Sokan Kız* adlı çok satan harika bilim kurgularında da usta şifre kırıcısı Lisbeth Salander'in maceralarını anlatır. Karl Olsberg'in *Sistem* adlı yine çok satan bilim kurgu romanında bir yazılım şirketi yapay zekâya sahip bir süper bilgisayar üretir. Kitap, her şifreyi kırabilen, kendi başına algoritma üretip yazılım yapabilen süper bilgisayar üzerinde oynanan olaylar üzerinedir; sistem adını verdiği yapay zekâ kurulu düzenin başına bela olur. Karl Olsberg'in romana konu ettiği kuantum bilgisayardan başka bir şey değildir. Görüldüğü gibi, kuantum fiziğinde yaşanan gelişmeler, başta edebiyat ve sinema olmak üzere popüler kültürü dahi etki altına almaktadır. Kafanızda bir kuantum kavramı oluşturabilirsiniz veya oluşturmak istemezsiniz, seçim sizin.

7
Kuantum Fiziği, İnanç ve Felsefe

Kültür, bilim din ve sanat etkinliklerinin topluma yansıması ile oluşan değerler bütünüdür. Bu üç ana eksenin tanımladığı uzaydaki her nokta kültürel bir değerdir. İnanç kültürü olmasa Süleymaniye veya Ayasofya veya Taç Mahal veya Kent Katedrali inşa edilebilir miydi? Bu son bölümde kuantum kuramının çağdaş kültür ile etkileşmesi üzerinde kısaca durulacaktır.

Tarihin gidişatını değiştiren keşifleri ve kanıtlara dayandırdığı ispat kavramıyla bilim, çağdaş düşüncenin şekillenmesine önemli rol oynamıştır ve gelecekte de bu rolünü sürdürecektir. Din, inanç ve felsefe bu bilimsel gelişmelerden kendilerini soyutlayamaz, aralarındaki fay hattını derinleştiremez. Bu nedenle gerek bilim gerekse din çevrelerinde, kültürü oluşturan bu iki ana eksenin içinde yer aldığı düzlemlerin ara kesitleri aranmaktadır. Aklın kutsanmış iki soylu uğraşının örtüşme alanları genişletilmektedir. İbrahim'i inancının devamı olan Judaizm, Hıristiyanlık ve İslamiyet'te tanrı:

Âlimi mutlak (Omniscient), Kadiri mutlak (omnipotent).

Her şeyi bilen, her şeye kadir, mutlak adil olan soyut bir var oluştur. Bu özellikler felsefenin iki temel uğraşı ile ilgilidir. Âlimi mutlak tanrı epistemoloji yani bilgi kuramı, kadiri mutlak tanrı ontoloji yani varlık kuramının son noktasıdır. Bilimi, ne bilgi kuramı ne de varlık kuramı ilgilendirir. Bilginin değeri, bilginin kaynağı, bilginin sınırları gibi konular felsefenin ilgi alanı içindedir. Bilim için esas olan, örneğin nötron elektrik yüksüz olmasına rağmen neden kütlesi elektrik yükü taşıyan protondan daha büyüktür sorusunun yanıtını bulmaktır. (Bütün akademik hayatımı bu garip doğa olayını açıkla-

yabilmek için harcadım, ben ve aynı problemi çözmek isteyen çok sayıda bilim insanı çok uğraştı, hâlâ da kesin olarak ölçülen kütle farkının kaynağı bilinmiyor.) Bu örneği vermemdeki amacım bilgi kuramıyla uğraşanlar ile bilgiyi üreten, yani burada fizikçi, arasındaki farkı belirtmek içindir. Epistemoloji, yani bilgi kuramı, yukarıda saydıklarıma benzer, bütünün ortak özellikleri ile bilim ise, örneğin hidrojenin iyonizasyon enerjisinin ne olduğu ile ilgilidir, bütün onu ilgilendirmez. Ontoloji, yani varlık kuramı için de durum farklı değildir. Ancak varlık ve var olan arasında ince bir fark vardır. Soyut matematik veya geometri örneğin Pisagor teoremi veya sayılar da bir var olandır. Doğa matematiksel bir mantık ile kurduğu evrenin düzenini yasalar eliyle sağlar. Hiçbir şey doğa yasalarından daha güçlü değildir, bu tanrının kadiri mutlak özelliğidir. Felsefe evreni bir bütün olarak anlama çabasıdır. Bu bağlamda bilimsel gelişmeler felsefeyi birinci elden ilgilendirir.

Klasik fizik denklemleri, örneğin Newton hareket denklemeleri veya gazların genel kanunu, başlangıç şartları bilinen bir sistemin geleceğinin eksiksiz ve kesin olarak verir. Klasik fizik olayları neden sonuç ilişkisine bağlar. Determinizm veya belirlemecilik tüm dinamikleri verebilecek bir yöntem midir, bunun tartışmasını bilim felsefesi yapar. Kuantum fiziğinin ortaya koyduğu olasılık kavramı ile klasik fiziğin belirlemecileri arasında geçen tartışmaları önceleri konu ettik. Felsefe bilimdeki, özellikle kuantum fiziğindeki gelişmeleri göz önüne alarak kendine yeni tartışma alanları doğurmuştur. Bu alanlar felsefecileri ilgilendirir

İnanç, bireyin kendi iç dünyası ile yaşadığı etkileşmelerin ve hesaplaşmaların bütünüdür. Kaynağı ise, sadece insana verili olan aklı ve vicdanıdır. İnsanda akıl ve vicdanın kendiliğinden varoluşunun nedeni, ahlak kuralları üretme kabiliyetidir. İnanç sistemleri akıl dünyasına sınırlar getiren normatif karaktere büründüğünde yaratıcı ruhun egemenliği son bulur. Hiçbir inanç sistemi insana verilmiş bu özgürlüğe sınırlama getiremez, tanrının mantığı budur.

Kuantum kuramının belli bir inanç sisteminin öğretilerini ve normatif özelliklerini doğrulayan veya dışlayan bir yanı yoktur. Bu cins çabalar sadece zorlamalardan ibarettir. Burada mucizeler, efsaneler, rivayetler yer almaz. Teoloji kendi argümanlarına güvenirlilik kazandırmak için kuantum fiziğine atıf yapmak yerine düşünce yapısını akıl ekseni üzerinde kurgulaması gerekir, nitekim çağdaş teologlar bu yolu benimsemektedirler. Bilim gerçeği veya gerçeğin davranışlarını kanıtlara atıf yaparak tanımlar. Her geçen gün bilim ve din adamlarının gayretleri ile inanç ve akıl arasındaki fay hattı daralmaktadır. Başınız ağrıttım veya kafanızı karıştırdımsa ne mutlu bana, sözü burada bitiriyorum

Anladıklarına inan, inandıklarını anlamaya çalış.

Dizin

A

Age of Faith, 21
Age of Reason, 21
Aida, 9
Alain Aspect, 148
Aristo, 153

B

Batlamyus, 153
Belirsizlik ilkesi, 8, 13, 103, 104, 107-109, 113, 119-124, 130, 134, 135, 138, 144, 146, 147, 150, 152, 157, 192
Bell teoremi, 8, 144, 146, 161, 162
Bohr, 87-89, 91, 93, 100, 102, 103, 111-113, 119-123,125, 129, 132, 133, 147, 176, 179
Bose-Einstein yoğunlaşması, 192, 193

C

Carl E. Wieman, 193
Carpaccio, 9
CERN, 15, 173
Chanel, 140
Charles Bennett, 179
Christian Dior, 140
Churchill, 111
Coulomb, 87

Ç

Çift yarık deneyi, 7, 68, 71, 72, 74, 93-96, 105, 138, 140, 141

D

Dalgalar, 7, 8, 52-55, 58-60, 62, 63, 68, 76, 80-82, 102, 120, 128, 129, 139, 141, 143, 147, 160, 193
Dan Brown, 197
David Bohm, 138
De Broglie, 7, 74-77, 80, 81, 85
Determinist, 28, 77, 99, 124
Dijital Kale, 197
Donatella, 9
Dönme, 7, 63-65, 144-152, 159, 165, 170, 172, 173, 175, 176, 179, 180, 187, 188
Düal, 62, 73

E

Einstein, 5, 43, 50, 86, 94, 95, 102, 103, 110-113, 119-125, 127, 129-131, 133, 144, 147, 149, 153, 158, 160, 161, 167, 170, 176, 193
Elektromanyetik dalgalar, 7, 59-63, 67, 68, 72, 80, 90, 91, 128, 165
El-Razi, 20
Enerji, 5, 27, 32, 41, 43, 44, 46, 47, 50, 52-56, 58, 59, 61, 62, 68, 70, 72-74, 76, 81, 86- 88, 98, 105, 108, 109, 121, 127, 128, 151, 160, 164, 166, 167, 170-173, 176, 178, 180, 191-194
EPR deneyi, 8, 125, 126, 179
Epur se muove, 9
Eric A. Cornell, 193
Eugene Polzik, 179

F

Farabi, 20, 26
Feynman, 96, 97
Fikret Kortel, 150
Fontana Del Trevi, 9
Foton, 49, 59, 62, 68, 71, 105-107, 113, 119, 121, 141, 143, 147, 148, 150, 151, 159, 165, 166, 171, 173-179, 196
Francis Bacon, 16
Frekans, 7, 30, 44, 47, 48, 55, 57, 59, 61, 62, 76, 77, 107, 139

G

Galileo Galilei, 9, 40
Gene Roddenberry, 177
Genlik, 55-57, 61
Gentile Bellini, 9
Girişim, 7, 55, 57, 61, 69-72, 74, 75, 81, 82, 91, 93, 95, 141, 160, 161
Gizli değişkenler, 122, 123
Güçlendirici girişim, 7, 57, 58

H

Hacı Bayramı Veli, 26
Heisenberg, 8, 13, 103, 104, 107-109, 120-124, 136, 144, 146, 150, 156, 192, 196
Heron, 97, 98

İ

İbni Sina, 20, 26

J

Jim Rogers, 12

K

Kabarcık odası, 156
Kant, 21
Kara delik, 154, 172, 173
Karl Olsberg, 197
Kedi paradoksu, 8, 12, 99-101, 139, 142, 143
Kepler, 40
Kopenhag yorumu, 8, 103, 120, 121

Kuantum bilgisayarlar, 8, 14, 121, 181, 182, 186-191
Kuantum hesaplama, 8, 121, 181
Kuantum kriptoloji, 8, 121, 195, 196
Kuantum sıçrama (Quantum Leap), 158
Kuantum teleportation, 8, 174, 177, 178, 180, 181, 197
Kuasar (akdelik), 154

L

La Scala, 9
Lautrec, 20, 21
Lazer, 13, 23, 69, 74, 75, 81, 91, 126, 129, 165, 166, 178, 179, 192-194
Le Boheme, 9
Lenin, 111
Leonardo da Vinci, 9, 10
Leyla Gencer, 9
Lisbeth Salander, 197
Lord Rayligh, 47

M

Marc Forster, 12
Maria Callas, 9
Mary Quant, 140
Matisse, 77
Maupertuis, 98
Max Born, 90, 91, 95
Max Planck, 48, 50
Maxwell, 33, 80
Messi, 67
Monet, 77

N

Nano-farmakoloji, 14
Nano-teknoloji, 14
Nano-tıp, 14
Nedensellik, 121, 123, 176
Newton, 22, 29, 34, 39, 40, 66, 81, 94, 95, 111, 135, 153, 154, 156, 157, 199

O

Odexsus, 153
Olasılık, 8, 28, 52, 75, 80, 84, 86, 89-96, 99-102, 120-124, 127, 129, 130, 135-145, 157-161, 164, 176, 188, 189, 199
Olga Kurylenko, 12
Osiris, 153

Ö

Öklid, 22
Ölçüm problemi, 8, 120, 135, 138, 139

P

Pavarotti, 9
Picasso, 65, 77, 78, 80, 123
Pisagor, 34, 167, 199
Planck, 7, 48, 49, 50, 76, 87, 88
Platon, 18-20, 33
Podolsky, 125
Polarizasyon, 7, 55, 60, 126-128, 131, 174
Pontius Pliatus, 16, 17
Puccini, 9

Q

QUANTA, 7, 9, 11, 12
Quantum of Solace, 12
Quid est varitas?, 7, 16

R

Rafael, 10, 11
Renoir, 78
Rodin, 37
Rosen, 125
Rupert Ursin, 178

S

Schrödinger, 8, 12, 28, 81, 86-92, 94, 95, 98- 102, 110, 121, 123, 136, 137, 139, 141, 142, 147, 155, 157, 160, 175
SCONTA, 11
Sicim kuramı, 132
Silikon vadisi, 103, 191
Singlet, 164, 165
Sir James Jeans, 47
Solvay konferansı, 102, 110-112, 120, 122, 121, 125, 126, 129
Spin, 7, 63- 65, 145-148, 174, 175, 179
SQUID, 13

U

Uzay-zaman, 110, 113, 119, 121, 144, 166-169, 171, 172, 177

V

Verdi, 9, 119, 120

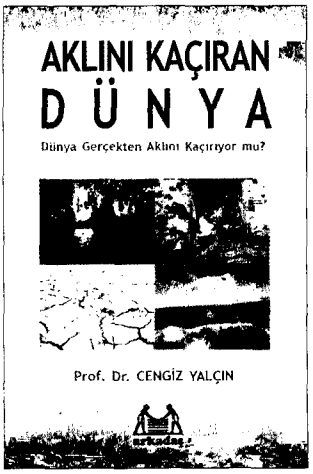
W

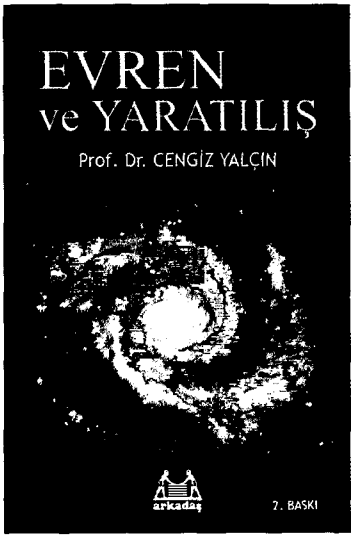
Wikileaks, 195
Will Durant, 21

Y

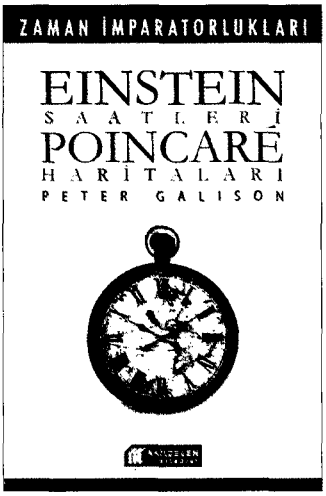
Yine de dünya dönüyor, 9
Yok edici girişim, 7, 58, 93, 122, 141
Yörünge, 87, 88, 94, 97, 157
Yunus Emre, 10

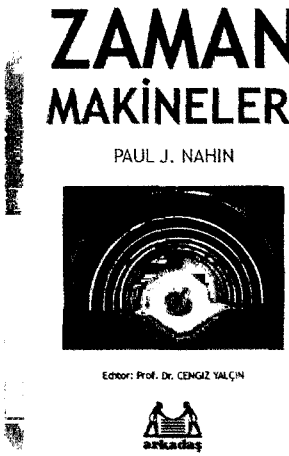
Prof. Dr. Cengiz Yalçın Kitaplığı

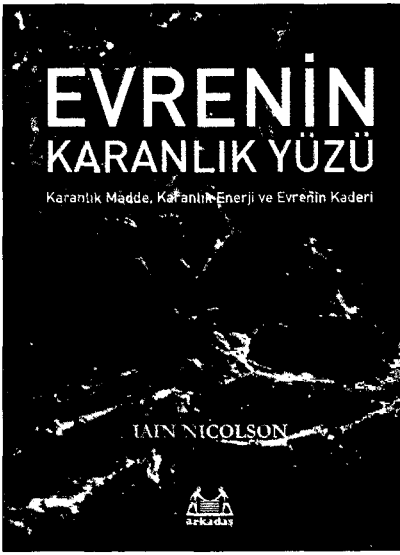




Bilim Kitaplığı







KUANTUM: Tanrı'nın Nefesi mi? Aklın Sesi mi? Neyin Nesi?

Düşünmek, nedenlerin, nasılların arkasına takılmak, yani özgün bilgi üretmek, bilginin her türlü değerin üstüne çıktığı günümüzde, fikir işçileri denilen yeni bir sosyal sınıf yaratmıştır. Apple, Samsung, IBM, Intel, Microsoft gibi dünyaya ekonomisine yön veren dev kuruluşlar, bu yeni sosyal sınıfın kontrolüne girmiştir. Bill Gates işe başladığında, sizin gibi, Afrika'da safari yapacak parası yoktu, şimdi ise dünyanın en zengin adamı. Apple markasını yaratan Steve Jobs, özgün düşünmenin ekonomik değere nasıl dönüşebileceğini kanıtlayan bir teknoloji ikonu oluverdi. Bütün bu gelişmelerin motoru kuantum kuramıdır. Yirminci yüzyılın en önemli entelektüel başarısı olan kuantum, yirmi birinci yüzyılın dinamiğini belirleyen bir efsaneye dönüştü. Cengiz Yalçın, kitabında sizleri bu efsanenin mantığı ile tanıştırıyor. Karmaşık sandığınız günümüz teknolojilerinin nasıl basit olayların nedenlerini düşünerek yaratıldığını hayretler içinde görecek, bilgisayar ekranına bile başka gözle bakar olacaksınız.

Cengiz Yalçın kuantum kuramını herkesin anlayabileceği en yalın biçimde açıklamakla kalmıyor, günümüzde ve gelecekte, günlük hayattaki yansımalarını da ortaya çıkarıyor. *Kuantum: Tanrı'nın Nefesi mi? Aklın Sesi mi? Neyin Nesi?* ufuk açıcı ve insanı düşünmeye sevk eden bir kitap.

www.akilcelenkitaplar.com
Yayıncı Sertifika No: 12382

ÖDÜNÇ-
1 004001 31801